



Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Departamento de Engenharia Civil

Rafael Lima da Silva

Análise do incremento de capacidade no lado ar gerado pelas novas instalações do
Aeroporto Internacional de Florianópolis

6 de dezembro de 2017

Rafael Lima da Silva

**Análise do incremento de capacidade no lado ar gerado pelas novas instalações do
Aeroporto Internacional de Florianópolis**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado pelo acadêmico Rafael Lima da Silva à banca examinadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Professor orientador: Alexandre Hering Coelho, Dr.

6 de dezembro de 2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Silva, Rafael Lima da

Análise do incremento de capacidade no lado ar gerado
pelas novas instalações do Aeroporto Internacional de
Florianópolis / Rafael Lima da Silva ; orientador,
Alexandre Hering Coelho, 2017.

62 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2017.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Aeroporto. 3. Capacidade. 4.
Sistema de pistas. I. Coelho, Alexandre Hering. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Engenharia Civil. III. Título.

RAFAEL LIMA DA SILVA

ANÁLISE DO INCREMENTO DE CAPACIDADE NO LADO AR GERADO PELAS NOVAS INSTALAÇÕES DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE FLORIANÓPOLIS

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 5 de dezembro de 2017.

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Alexandre Hering Coelho
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Liseane Padilha Thieves
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. José dos Santos de Magalhães

Agradecimentos

Agradeço, principalmente, a minha mãe pelo apoio incondicional durante toda a minha existência, além de todas as lições de vida.

Aos meus professores da UFSC, por todo o conhecimento que me passaram nesta jornada.

Ao meu orientador Alexandre Hering Coelho, que, além de participar da minha formação como engenheiro, me apresentou ao mundo da aviação e me instruiu neste trabalho.

A todos os meus amigos, por toda ajuda em resolver desafios que surgiram no decorrer deste trabalho e pelo companheirismo durante minha vida.

RESUMO

A capacidade de um aeroporto tem ligação direta com o nível de serviço do mesmo. No caso do lado ar de um aeródromo, se a demanda é maior que a quantidade máxima de voos por hora que um sistema de pistas suporta, atrasos são esperados, o que causa deterioração no nível de serviço.

O aeroporto de Florianópolis é conhecido pelos seus usuários por não ter uma capacidade que atenda a demanda, principalmente em seu terminal de passageiros, visto que filas são presenciadas diariamente, e essa situação somente se agrava com o passar dos anos.

Com o objetivo de realizar a análise do acréscimo de capacidade do lado ar do Aeroporto Internacional de Florianópolis com as novas instalações, neste trabalho são realizados cálculos que verificam a situação atual, com somente uma pista de pouso e decolagem para voos comerciais, e futura do aeródromo, com uma nova pista de taxiamento.

Para isso, programas de computador são utilizados, com foco maior no REDIM, *software* que calcula o tempo de ocupação de pista por aeronaves, conceito importante quando do cálculo de capacidade horária de movimentos em um sistemas de pistas.

Como resultado, a capacidade de operações por hora no Aeroporto Internacional de Florianópolis praticamente dobrou em comparação entre a capacidade calculada da situação atual e da futura.

Palavras-chave: aeroporto, Florianópolis, capacidade, *software*, REDIM, tempo de ocupação de pista

ABSTRACT

An airport's level of service has a strong correlation with its capacity. In the case of an aerodrome's airside, if the demand is greater than the maximum quantity of flights that a runway system supports, delays are expected, which causes deterioration in the level of service.

The airport located in Florianópolis, Brazil is known by its users for having a capacity that does not meet demand, primarily in the passenger terminal. Lines are noticed daily, and as time goes by the situation only gets worse.

Calculations that verify this current scenario of breached capacity; with just one runway, and the future situation, with a new taxiway are done in this work. The main objective of this analysis is to show the increase in airside capacity of Florianópolis's international airport with the new facilities.

For this to happen, freeware are used with a main focus on REDIM software that calculates the runway occupancy times of aircrafts; an important concept of the calculation of maximum hourly capacity of movements in a runway system.

As a result, the Florianópolis International Airport's runway capacity per hour nearly doubled in comparison between the calculated capacity for the current situation and the future situation.

Key-words: airport, Florianópolis, capacity, freeware, REDIM, runway occupancy time

Lista de Figuras

1	Espaço aéreo brasileiro.	5
2	Relação da razão de demanda-capacidade e variação de demanda ao atraso médio das aeronaves.	6
3	Pessoas sem local para sentar no terminal do aeroporto de Florianópolis.	7
4	Diagrama tempo-distância para duas aeronaves em operação de pouso e outra aeronave em decolagem.	12
5	As fases no pouso de uma aeronave.	20
6	Obras que serão realizadas no sítio aeroportuário.	23
7	Sítio aeroportuário do aeroporto de Florianópolis.	23
8	Fachada frontal do novo terminal de passageiros.	24
9	Fachada lateral do novo terminal de passageiros.	24
10	Guichês para <i>check-in</i> no novo terminal.	25
11	Portões de embarque equipados com pontes de embarque cobertas.	25
12	Fluxograma do método.	26
13	Tela para inserção do comprimento da pista de pouso e decolagem e seu gradiente.	28
14	Tela para inserção do número e características das saídas.	29
15	Tela para inserção de dados do meio ambiente.	30
16	Rosa dos ventos com as cores que indicam a velocidade dos ventos em nós.	31
17	Imagem da rosa dos ventos posicionada no Aeroporto Internacional Hercílio Luz.	32
18	Gráfico da distribuição de frequência dos ventos em classes de acordo com a velocidade em nós.	32
19	Tela de entrada de dados do site da FAA para checagem de cobertura dos ventos.	33
20	Gráfico da cobertura dos ventos da pista de pouso e decolagem.	34
21	Mapa da porcentagem do tempo que choveu.	36
22	Mapa da porcentagem da área onde choveu.	36
23	Tela para inserção do <i>mix</i> de aeronaves.	38
24	Resultados para a situação atual da cabeceira 32.	40
25	Continuação dos resultados para a situação atual da cabeceira 32.	41
26	Representação da pista atual em relação a um pouso na cabeceira 32.	41
27	Estatísticas para a situação atual da cabeceira 32.	42
28	Resultados para a situação futura da cabeceira 14.	43
29	Continuação dos resultados para a situação futura da cabeceira 14.	43
30	Representação da pista futura.	44
31	Estatísticas para a situação futura da cabeceira 14.	44

32	Registro da quantidade de cada ocorrência de vento, com sua direção e classe de acordo com a velocidade.	51
----	--	----

Lista de Tabelas

1	Mínimos de separação com esteira de turbulência.	10
2	Tempos de decolagem para cada tamanho de aeronave.	13
3	Peso máximo de decolagem para cada tamanho de aeronave.	14
4	Distâncias mínimas de separação radar, em milhas náuticas.	15
5	Distâncias mínimas da separação convencional, em segundos.	16
6	Velocidades médias das aeronaves de acordo com operação e tamanho.	16
7	Distâncias mínimas da separação radar, em segundos	17
8	Matriz final das distâncias mínimas de separação, em segundos.	18
9	Posição das saídas existentes da pista no aeroporto em relação à cabeceira 14. . .	27
10	Posição das saídas futuras da pista no aeroporto em relação à cabeceira 14. . . .	27
11	Dados do vento.	30
12	Dados sobre os mapas do CPC.	35
13	Quantidade de pousos e decolagens de cada aeronave em uma semana.	37
14	<i>Mix</i> de aeronaves reformulado para inserção no <i>software</i> REDIM.	39
15	Matriz das distâncias mínimas de separação para aeronaves grandes, em segundos. .	46
16	Matriz das probabilidades ($[p_{ij}]$).	46
17	Intervalo de tempo de cada operação probalisticamente, em segundos.	47

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Objetivos	2
1.1.1	Objetivo geral	2
1.1.2	Objetivos específicos	2
1.1.3	Estrutura	2
2	Revisão bibliográfica	3
2.1	Aviação	3
2.2	Espaço aéreo	4
2.2.1	Espaço aéreo brasileiro	4
2.3	Capacidade e nível de serviço	6
2.3.1	Método da FAA	8
2.3.2	Método do DECEA	9
2.3.3	Método da capacidade teórica máxima	11
2.4	<i>Software</i> REDIM	19
2.4.1	Método de Monte Carlo	20
3	Aeroporto Internacional de Florianópolis	22
4	Metodologia	26
4.1	Obtenção dos dados	27
4.1.1	Informações geométricas do aeroporto	27
4.1.2	Dados meteorológicos	29
4.1.3	<i>Mix</i> de aeronaves	37
5	Resultados	40
5.1	Cálculo do ROT	40
5.2	Cálculo do tempo de decolagem	45
5.3	Cálculo do tempo de separação entre aeronaves	45
5.4	Cálculo das capacidades teóricas máximas horárias	47
6	Conclusões	48
	Referências	49
	Anexo A - Registros de ventos por hora no FLN	50

1 Introdução

No mês de maio do ano de 2017, o Aeroporto Internacional de Florianópolis – Hercílio Luz registrou uma quantidade de 3609 pousos e decolagens. Destes, 1247 foram pousos de voos de transporte regular, porém somente 31 dessa porção são registrados como voos internacionais. São números baixos ao considerar o potencial que a cidade de Florianópolis tem para o turismo. Desde 2013, a capital do estado de Santa Catarina é classificada pelo Ministério do Turismo na categoria A de potencial turístico, a mais alta classificação.

No mês de janeiro de 2017, mesmo em um período em que há grande quantidade de turistas em Florianópolis, somente 114 voos internacionais pousaram no aeroporto internacional localizado no bairro Carianos.

A cidade, ao mesmo tempo, também não quer mais ser conhecida apenas como opção para o turismo e, no momento, disputa para se tornar referência nacional em tecnologia. Florianópolis possui dois parques tecnológicos, o Alfa e o Sapiens Parque e conta com mais de 600 empresas de tecnologia.

A demanda indica que a cidade precisa de um aeroporto que comporte mais capacidade e, depois de um leilão de concessão no ano de 2017, o futuro do aeroporto parece ser mais claro.

Obras já tinham sido iniciadas em 2012 com objetivo de ampliação da capacidade do aeroporto e tinham prazo de conclusão em até 27 meses. Estas incluíam a terraplenagem de todo o empreendimento, construção de um novo terminal de passageiros, pátio de estacionamento de aeronaves, uma pista de táxi e um estacionamento de veículos. O ano é 2017 e nada do que iniciou em 2012 ainda foi concluído, porém este ano ocorreu algo que pode mudar o rumo desta situação.

A operadora Zurich Airport AG, da Suíça, foi a vencedora do leilão de concessão do aeroporto de Florianópolis que aconteceu em 16 de março de 2017. Pelo direito de administrá-lo pelos próximos 30 anos, o valor total a ser pago para o governo do Brasil é de R\$ 241 milhões. A assinatura do contrato ocorreu em 28 de julho do mesmo ano, data que fica marcada como o dia que a operadora apropriou definitivamente a estrutura do aeroporto de Florianópolis.

Novas instalações serão construídas pela operadora com o intuito de aumentar a capacidade do aeroporto, principalmente do terminal de passageiros e do sistema de pistas. Sobre este último, há métodos de órgãos governamentais, como o Departamento de Controle do Espaço Aéreo, que calculam a capacidade de operações em uma hora que uma pista de pouso e decolagem é capaz de prover através de equações que consideram os tipos de aeronaves que operam no aeroporto, informações geométricas deste e o uso ou não de equipamento radar.

Com o emprego de um método alternativo a estes tradicionais de órgãos governamentais, que leva em consideração de dados meteorológicos a também o tempo de ocupação de pista por

aeronaves, este trabalho tem grande foco no uso do *software* REDIM, que permite o cálculo deste tempo de ocupação de pista.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O trabalho tem como objetivo geral o de quantificar o incremento no resultado da avaliação da capacidade de operação de aeronaves no Aeroporto Internacional de Florianópolis ocasionado pelo aumento na sua infra-estrutura, com base em métodos, dados disponíveis e o emprego de *freeware*, como o REDIM.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- Identificar métodos para quantificar a capacidade de pistas de pouso e decolagem em aeródromos;
- Identificar fontes de dados disponíveis para suprir os métodos de análise de capacidade;
- Empregar um método alternativo, em relação aqueles utilizados por órgãos governamentais, para analisar a situação atual e futura do Aeroporto Internacional de Florianópolis.
- Comparação dos resultados com a situação atual.

1.1.3 Estrutura

Este trabalho está organizado da seguinte forma:

No capítulo 1 são apresentados o tema abordado, os objetivos a serem atingidos e a estrutura do trabalho.

No capítulo 2 é feita uma revisão bibliográfica, onde primeiro é definido o que é aviação, para que de um aspecto geral a um particular, possa ser definido o que é capacidade e os métodos de calculá-la, com foco na metodologia que será aplicada no trabalho e no *software* que calcula o tempo de ocupação de pista por aeronaves.

No capítulo 3 é apresentada a área de estudo, o aeroporto internacional de Florianópolis, com mais detalhes, tanto de sua estrutura atual quanto da futura com as novas instalações.

No capítulo 4, a metodologia escolhida é aplicada. É demonstrado como os dados foram recolhidos e como foram trabalhados para que pudessem resultar na capacidade teórica máxima.

O capítulo 5 fica reservado as conclusões e sugestões de trabalhos futuros.

2 Revisão bibliográfica

Informações necessárias para o cálculo de capacidade horária de uma pista de pouso e decolagem serão abordadas neste capítulo. Este capítulo tem início em um aspecto geral até que chegue em um particular, como o caso da cálculo da capacidade. A revisão bibliográfica conta, com uma breve história da aviação, explica o espaço aéreo e, então, apresenta o conceito de capacidade, com métodos que possibilitam o cálculo desta ao utilizarem informações do sistemas de pistas e características do aeroporto e instruções de órgãos governamentais.

2.1 Aviação

A aviação, palavra cunhada a partir da união do latim *avis* ("ave") com o sufixo *-ation* para a atividade que tem objetivo o estudo, desenvolvimento e exploração dos aeródinos (denominação genérica para máquinas mais pesadas que o ar), é um dos ramos da aeronáutica, que por si, é a atividade e o estudo do transporte aéreo dentro da atmosfera terrestre.

Máquina mais pesada que o ar, capaz de alçar voo por meios próprios, a aeronave tem origem polêmica quanto ao verdadeiro inventor, porém, segundo BARROS (2006) foi Alberto Santos Dumont, brasileiro nascido na cidade que hoje leva seu nome, no estado de Minas Gerais, o primeiro a ter registrado o feito de ter realizado um voo em um aparelho sem nenhum auxílio externo, no ano de 1906.

Conforme consta em KAZDA; CAVES (2007), "no início da aviação, o aviador primeiro construiu uma aeronave e então começou a buscar um adequado campo de pouso". Era o começo do desenvolvimento dos aeroportos e segundo KAZDA; CAVES (2007) "os parâmetros do aeródromo tinham que ser selecionados com base na performance e características geométricas das aeronaves".

A partir de então, os aeroportos e aeronaves têm grande e contínua evolução e que permite, atualmente, o transporte de milhões de pessoas e cargas ao redor do mundo. Segundo ASHFORD; MUMAYIZ; WRIGHT (2011), a aviação civil transportou aproximadamente 3 bilhões de passageiros em 2010.

Conforme consta em HORONJEFF et. al. (2010), a aviação civil é tipicamente considerada em três setores, aviação de serviço comercial (voos regulares das companhias aéreas), transporte de carga e aviação geral. Esta última é reservada a aviões de pequeno porte, ou seja, "operações de avião geral não transportam passageiros 'comerciais'"(HORONJEFF et. al., 2010).

Autoridade da aviação civil no Brasil, a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) é uma agência reguladora federal, criada para regular e fiscalizar as atividades da aviação civil no que se diz respeito a aspectos econômicos e à segurança técnica do setor.

2.2 Espaço aéreo

Em Chicago, nos Estados Unidos da América, aconteceu em 7 de dezembro de 1944 o que ficou conhecido como a Convenção de Chicago. À época, o transporte aéreo, que já levava passageiros e carga por todo o mundo, tinha necessidade de regras gerais que proporcionassem aos usuários segurança, regularidade e eficiência. Conforme consta em HORONJEFF et. al. (2010), foi nessa convenção de 52 nações onde nasceu o conceito da Organização de Aviação Civil Internacional (ICAO, do inglês *International Civil Aviation Organization*), agência especializada responsável pela promoção do desenvolvimento seguro e organizado da aviação civil mundial.

Segundo ASHFORD; MUMAYIZ; WRIGHT (2011), a Convenção de Chicago estabeleceu artigos que determinavam regras e definições acerca do transporte aéreo internacional. Entre essas determinações, estava a relacionada aos espaços aéreos.

2.2.1 Espaço aéreo brasileiro

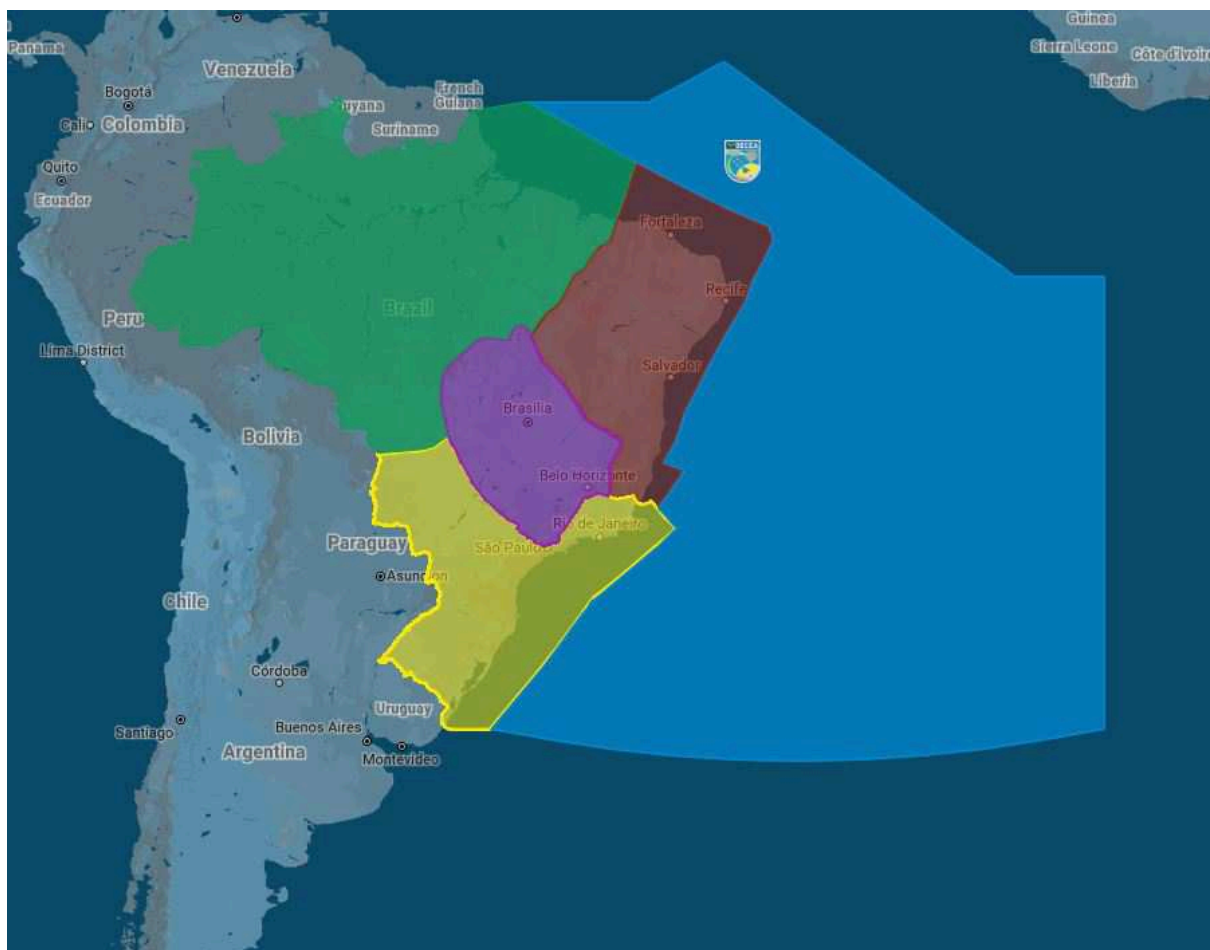
Acordado em tratados internacionais, o espaço aéreo brasileiro superpõe o território do país e estende-se até o meridiano 10W, o que faz abranger uma boa parte do Oceano Atlântico, como é possível notar na Figura 1. Por se tratar de algo de tamanha proporção, o controle do espaço aéreo é confiado à uma das Forças Armadas do Brasil. O Comando da Aeronáutica tem o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) como o encarregado por essa função.

Segundo a página na *internet* do DECEA (<<http://www.decea.gov.br/?i=quem-somos&p=espaco-aereo-brasileiro>>), o espaço aéreo brasileiro chega a uma área de 22 milhões de km².

Conforme consta em DECEA (2017b), de modo a controlar de maneira eficaz o fluxo de tráfego aéreo no país, o DECEA tem como subordinadas quatro bases operacionais denominados Centros Integrados de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo (CINDACTA). As bases operam sobre subdivisões do espaço aéreo, chamadas de regiões de informação de voo, que vem do inglês *Flight Information Region* (FIR).

A área em roxo na Figura 1, que tem como responsável o CINDACTA I, em Brasília – DF, abrange a região central do Brasil. O CINDACTA II, em Curitiba – PR, é encarregado pela FIR que engloba o sul e uma parte do centro-sul do país e do oceano atlântico, em amarelo. A FIR em vermelho, que contém o nordeste e uma parte do oceano atlântico, tem como responsável o CINDACTA III, em Recife – PE. Por fim, a CINDACTA IV, em Manaus – AM, é encarregada pela área que se estende sobre a região amazônica e o oceano atlântico.

Figura 1: Espaço aéreo brasileiro.



Fonte: <<http://www.decea.gov.br/?i=quem-somos&p=espaco-aereo-brasileiro>>

2.3 Capacidade e nível de serviço

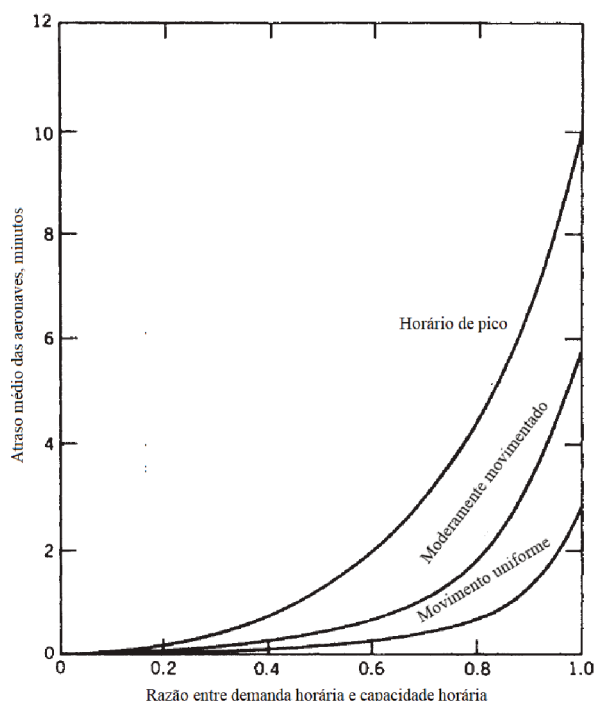
A capacidade de um aeroporto, de maneira simplificada, é medida pela quantidade de voos por hora na pista, pela quantidade de aeronaves que cabem estacionadas no pátio e pela quantidade de passageiros que se consegue processar entre embarque, desembarque, *check-in* e outras operações.

De acordo com ASHFORD; MUMAYIZ; WRIGHT (2011), capacidade não deve ser confundida com demanda, já que é uma medida de oferta. O nível de serviço, entretanto, depende da capacidade e a magnitude e padrão da demanda.

Segundo MÜLLER (1991), apesar dos conceitos de nível de serviço e capacidade estarem intrinsecamente relacionados, o primeiro está associado tanto a atributos mensuráveis, quanto aqueles de difícil medição, pois dependem da percepção do usuário ao aeroport. (apud. MEDEIROS, 2004).

Na Figura 2, está disposto um relacionamento que projetistas do mercado da aviação consideram essencial para definir a performance de um sistema como um aeroporto.

Figura 2: Relação da razão de demanda-capacidade e variação de demanda ao atraso médio das aeronaves.



Fonte: Adaptado de ASHFORD; MUMAYIZ; WRIGHT (2011)

O atraso médio das aeronaves é uma forma crucial para definir o nível de serviço e também a performance do sistema. Estimar a magnitude dos atrasos do sistema de pistas determina o nível

de deterioração da performance do aeroporto e reflete em qual ação tomar para se aumentar a capacidade do aeroporto, essa determinação também impacta na justificativa econômica para as melhorias no mesmo para alcançar tal objetivo.

Atualmente, no Aeroporto Internacional de Florianópolis, a capacidade do mesmo em conseguir processar os passageiros entre as operações é o que mais se destaca aos olhos em visita ao local.

Como visto na Figura 3, em visita ao aeroporoto no dia 14 de outubro de 2017, é possível perceber pessoas sentadas, ou até mesmo deitadas, nas escadas do terminal de passageiros (doravante denominado TPS neste trabalho). Uma vez que a demanda era maior que a capacidade no TPS, não havia cadeiras suficientes para todos os passageiros que esperavam para embarcar, ou fazer o *check-in*, por exemplo.

Figura 3: Pessoas sem local para sentar no terminal do aeroporto de Florianópolis.



Fonte: Visita de campo

Importante notar que um aumento na capacidade de um aeroporto, como o que irá acontecer com o Hercílio Luz no futuro, conjugado a também um aumento grande de demanda com a ampliação do aeroporto pode acabar por resultar em atraso das aeronaves.

Portanto, de acordo com ASHFORD; MUMAYIZ; WRIGHT (2011), dada a complexidade desse assunto, projetistas de aeroportos devem exercer precaução no planejamento de instalações aeroportuárias em situações onde a demanda se aproximaria à capacidade por períodos

consideráveis de tempo.

O trabalho foca na capacidade do sistema de pistas por hora, ou seja, a quantidade de movimentos (pousos e decolagem) possíveis num intervalo de sessenta minutos.

2.3.1 Método da FAA

A *Federal Aviation Administration* (FAA), dos Estados Unidos da América, é uma entidade governamental com poder de regular todos os aspectos da aviação civil no seu país de origem e é através da *Advisory Circular* 150/5060-5, de 1983, que a FAA traz seu método para o cálculo da capacidade horária do sistema de pistas, do volume de serviço anual e de atrasos.

Nos seus cinco capítulos, a circular traz informações sobre definições e termos associados à capacidade, a modelagem em si, com instruções para o cálculo que envolvem diferentes configurações de pista e situações de operações, além de cenários extraordinários, como aeroportos com pista restrita a pequenas aeronaves e condições meteorológicas desfavoráveis.

Na metodologia da FAA são usados fórmulas e ábacos que levam em consideração a configuração do sistema de pistas, o *mix* de aeronaves e as regras de voo, isto é, se o aeroporto opera com regras de voo por instrumentos (IFR) ou visual (VFR).

As regras de voo visual, do inglês *visual flight rules* (VFR), são o conjunto de procedimentos utilizado por pilotos quando os mesmos têm possibilidade de controlar visualmente a altitude do avião e também de ter contato visual com o tráfego aéreo devido às boas condições atmosféricas. Conforme consta em DECEA (2016), "caberá ao piloto em comando de uma aeronave em voo VFR providenciar sua própria separação em relação a obstáculos e demais aeronaves por meio do uso da visão". O pouso e decolagem de uma aeronave que voa VFR é proibido quando, por exemplo, há chuva, neblina ou nuvens densas. Este tipo de voo é feito, geralmente, somente por aeronaves de pequeno porte.

As regras de voo por instrumentos, do inglês *instrument flight rules* (IFR) são o conjunto de regras que o piloto tem que seguir para conduzir a aeronave com a orientação por instrumentos. Para voar IFR a aeronave tem que ser homologada para este procedimento e o piloto tem que ser certificado que é capaz de realizar um voo por instrumentos. Em um voo IFR, quem mantém a aeronave longe do tráfego aéreo e de obstáculos é o controle de tráfego aéreo.

O primeiro passo da metodologia é identificar em um ábaco indicado na circular o valor de C (base de capacidade de referência por hora), T (coeficiente *touch and go*) e E (coeficiente de saída). Para definição de C é necessário determinar a porcentagem de aeronaves de classes C e D, definidas pela FAA como aquelas que pesam entre 5.700 e 136.000 kg e aeronaves com peso maior que 136.000 kg, respectivamente, que operam na pista de pouso e decolagem e calcular o índice-*mix* (IM) através da Equação 1:

$$IM = \%C + 3 \cdot \%D \quad (1)$$

Onde:

IM = Índice-*mix*

$\%C$ = Porcentagem de aeronaves de classe C que opera em um aeroporto

$\%D$ = Porcentagem de aeronaves de classe D que opera em um aeroporto

Além disso, também é necessário saber a porcentagem de chegadas para obtenção do valor de C.

Depois, tem que se definir a porcentagem de operações *touch and go*, que, segundo FAA (1983), é uma manobra de pouso seguida por aplicação de potência e decolagem imediata, sem parar a aeronave, durante operações com VFR para que se tenha o valor para T; para operações com IFR, T é igual a 1,0.

No ábaco, é conseguido o valor do coeficiente de saída E com a determinação da localização das saídas da pista de pouso e decolagem.

A capacidade horária do sistema de pistas é, então, calculada através da Equação 2:

$$Capacidade = C \cdot T \cdot E \quad (2)$$

Onde:

$Capacidade$ = Capacidade horária do sistema de pistas

C = Base de capacidade de referência por hora

T = Coeficiente *touch and go*

E = Coeficiente de saída

2.3.2 Método do DECEA

O DECEA publica, no manual MCA 100-14 – Capacidade do Sistema de Pista, uma metodologia desenvolvida pelo Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea (CGNA). A finalidade é de, segundo DECEA (2015), "estabelecer os procedimentos a serem empregados no cômputo da capacidade do sistema de pistas dos aeródromos brasileiros".

“O CGNA desenvolveu um método para padronizar o cálculo de capacidade do sistema de pistas, visando acompanhar a evolução da demanda/capacidade de cada aeródromo, encontrando, assim, subsídios que permitam emitir recomendações prévias aos aeródromos de interesse, com a finalidade de manter a operacionalidade em harmonia” (DECEA, 2015).

São os fatores de planejamento e os relativos as operações de pouso e decolagem que são considerados para a determinação da capacidade. Ter condições ideais de sequenciamento e de coordenação de tráfego aéreo e que todas as equipes têm igual capacitação são alguns dos

fatores de planejamento. Quanto aos relativos as operações citadas acima, configuração das pistas de pouso e de táxi, o *mix* de aeronaves, uso ou não de equipamento radar e separação mínima entre as aeronaves, são alguns dos fatores levados em conta.

A metodologia utiliza, então, os tempos médios de ocupação de pista no pouso e na decolagem para cada categoria de aeronave e as distâncias de separação regulamentares que o DECEA recomenda para determinar a quantidade de pousos e decolagens possíveis num intervalo de uma hora.

Conforme consta em DECEA (2017a), a separação horizontal mínima entre aeronaves é de 5 NM. Porém, devido à esteira de turbulência, há uma exceção, disposta através das medidas expostas na Tabela 1. Estes valores de distâncias mínimas, segundo DECEA (2017a), devem ser aplicados, quando uma aeronave seguir ou cruzar a rota de outra na mesma altitude ou a menos de 300 m abaixo ou quando ambas as aeronaves utilizarem a mesma pista ou pistas paralelas separadas por menos de 760 m.

Tabela 1: Mínimos de separação com esteira de turbulência.

Categoria da aeronave que segue à frente	Categoria da aeronave que segue atrás	Mínimos
Pesada	Pesada	4 NM
	Média	5 NM
	Leve	6 NM
Média	Leve	5 NM

Fonte: DECEA (2017a).

Os mínimos de separação da esteira de turbulência são estabelecidos pelo DECEA com a finalidade de reduzir os possíveis perigos da mesma. A perturbação no ar que uma aeronave gera após deixar o solo na decolagem ou durante seu pouso é conhecido como esteira de turbulência. O piloto de um avião pode perder o controle sobre o mesmo se este entrar dentro de uma esteira.

“Os três efeitos básicos da esteira de turbulência sobre as aeronaves são: o balanço violento, a perda de altura ou de velocidade ascensional e os esforços de estrutura. O perigo maior é o balanço violento da aeronave que penetra na esteira até um ponto que exceda sua capacidade de comando para resistir a esse efeito. Se o encontro com o vórtice ocorrer na área de aproximação, seu efeito será maior pelo fato de a aeronave que seguir atrás se encontrar numa situação crítica com relação à velocidade, empuxo, altitude e tempo de reação.” (DECEA, 2017a).

São dois os tipos de separações mínimas a serem obedecidas, a convencional (controle convencional de posição) e a radar (a informação de localização da aeronave é adquirida através de fonte radar).

Para definição das mínimas distâncias de separação, o DECEA separa aeronaves de acordo com o peso máximo de decolagem (MTOW, do inglês *maximum design takeoff weight*). São três categorias, segundo DECEA (2017a):

- Pesada - aeronaves de peso máximo de decolagem de 136.000 kg (300.000 libras) ou mais;
- Média - aeronaves de MTOW inferior a 136.000 kg (300.000 libras) e superior a 7000 kg (15.500 libras);
- Leve - aeronaves de MTOW de 7000 kg (15.500 libras) ou menos.

Em relação a separação convencional, o DECEA define distâncias para aeronaves que pousam e para as que decolam.

Sobre a operação de pouso, segundo DECEA (2017a), 2 minutos deve ser a distância mínima aplicada às aeronaves médias que pousem atrás de aeronave pesada e 3 minutos para o caso de uma leve pousar atrás de uma média ou pesada.

Para a operação de decolagem, quando as aeronaves estiverem usando mesma pista, uma separação mínima de 2 minutos deve ser aplicada entre uma aeronave leve ou média que decole atrás de uma aeronave pesada e também no caso de uma aeronave leve que decole atrás de uma aeronave média (DECEA, 2017a).

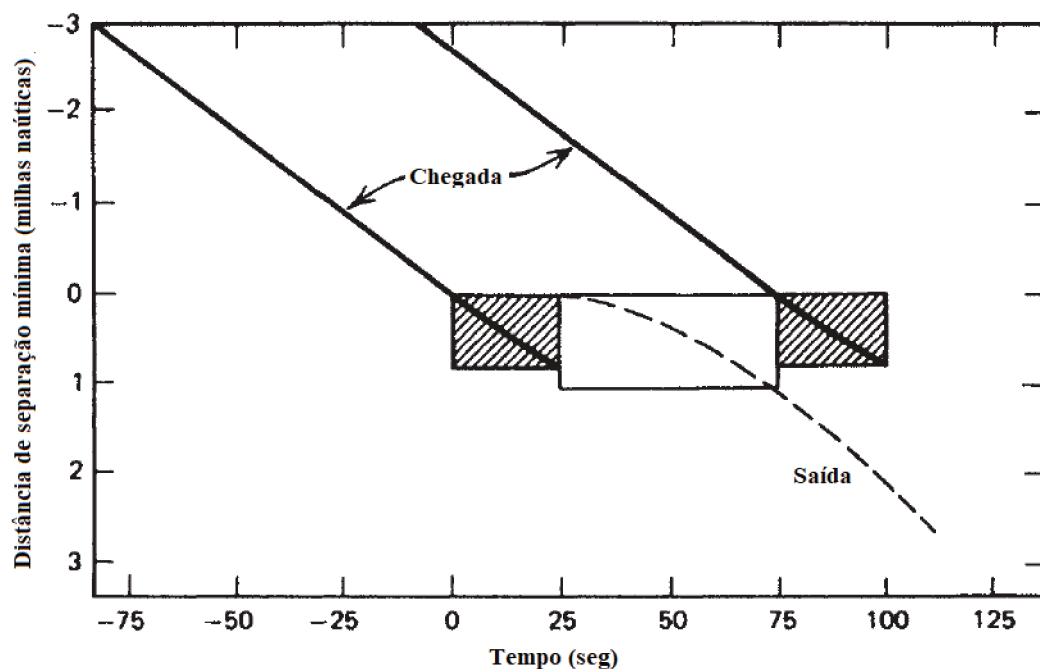
Uma das considerações da metodologia é de que, conforme consta em DECEA (2015), "as operações de pousos e de decolagens são equitativamente distribuídas em um aeródromo qualquer, cabendo 50 por cento a cada uma delas no período de uma hora". Isto significa que a metodologia do manual MCA 100-14 do DECEA considera a possibilidade de se intercalar uma decolagem entre dois pousos consecutivos.

2.3.3 Método da capacidade teórica máxima

Este trabalho tem como um dos objetivos específicos o emprego de um método alternativo aos tradicionais utilizados por órgãos governamentais para o cálculo da situação atual e futura da capacidade do Aeroporto Internacional de Florianópolis. A metodologia utilizada neste trabalho é a encontrada em AUGUSTO (2007), que é alternativa à da FAA e do DECEA.

A Figura 4 mostra o exemplo de um caso ideal, para a obtenção desta capacidade máxima. As linhas cheias pretas indicam o movimento de pouso (chegada) de duas aeronaves diferentes que têm no eixo das ordenadas a distância entre elas em milhas náuticas, entre 2 e 5 NM nas recomendações da FAA.

Figura 4: Diagrama tempo-distância para duas aeronaves em operação de pouso e outra aeronave em decolagem.



Fonte: Adaptado de ASHFORD; MUMAYIZ; WRIGHT (2011)

Conforme consta em ASHFORD; MUMAYIZ; WRIGHT (2011), um aspecto limitador deste padrão de sequenciamento da Figura 4 é a separação mínima regulamentada.

Por isso, “como duas aeronaves não são permitidas na pista no mesmo momento, o tempo de ocupação da pista irá influenciar a capacidade” (ASHFORD; MUMAYIZ; WRIGHT, 2011).

Ainda na Figura 4, se fosse o caso da pista ser somente para operações de pouso, a mesma ficaria sem uso por 66% do tempo, visto que o retângulo branco representa 50 segundos (o tempo que a pista não teria utilização) enquanto o retângulo com listras pretas simboliza 25s, que neste exemplo hipotético, seria o tempo de ocupação da pista (ROT, do inglês *runway occupancy time*). Desta forma, o único modo de que a capacidade fosse aumentada, seria com a inserção de uma operação de decolagem entre as duas operações de pouso.

Segundo AUGUSTO (2007), para o cálculo da capacidade horária, é necessário ter o tempo de ocupação de pista por aeronaves, de decolagem médio e de separação médio entre aeronaves.

Antes disso, as aeronaves que operam no aeroporto são divididas em cinco tamanhos, muito grande (MG), grande (G), médio (M), pequena (P) e muito pequena (MP), de acordo com sua capacidade de passageiros (PAX), dessa forma:

- MG = Muito grandes - aeronaves com capacidade para mais de 200 PAX.
- G = Grandes - aeronaves com capacidade de 100 a 200 PAX.
- M = Médias - aeronaves com capacidade de 40 a 100 PAX.
- P = Pequenas - aeronaves com capacidade em torno de 30 PAX.
- MP = Muito pequenas - aeronaves com capacidade em torno de 9 PAX.

O *mix* de uma aeronave no aeroporto é definido pela Equação 3:

$$Mix_{aeronave} = Voos_{aeronave}/Voos_{total} \quad (3)$$

Onde:

$Mix_{aeronave}$ = Porcentagem de uma aeronave no *mix* do aeroporto

$Voos_{aeronave}$ = Quantidade de operações de uma aeronave em um período de tempo no aeroporto

$Voos_{total}$ = Quantidade total de operações de aeronaves em um período de tempo no aeroporto

Com o valor da porcentagem de cada aeronave no *mix* do aeroporto, é possível chegar no valor do tempo de decolagem, em que deve ser feito o produto do *mix* de aeronaves pelos respectivos tempos de decolagem. Estes, segundo AUGUSTO (2007), foram levantados através de profissionais vinculados ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Na Tabela 2 é possível encontrar os tempos de decolagem para cada tamanho de aeronave.

Tabela 2: Tempos de decolagem para cada tamanho de aeronave.

Tamanho da aeronave	Tempo de decolagem (s)		
	Alinhamento	Rolagem	Total
MG	50	25	75
G	40	35	75
M	40	35	75
P	30	40	70
MP	20	50	70

Fonte: AUGUSTO (2007).

Assim, com os valores definidos para o *mix* e para o tempo de decolagem para cada tamanho de aeronave, é possível encontrar o tempo de decolagem total, como na Equação 4:

$$T_{\text{dec.m}} = T_{\text{dec.MG}} \cdot M_{\text{MG}} + T_{\text{dec.G}} \cdot M_{\text{G}} + T_{\text{dec.M}} \cdot M_{\text{M}} + T_{\text{dec.P}} \cdot M_{\text{P}} + T_{\text{dec.MP}} \cdot M_{\text{MP}} \quad (4)$$

Onde:

$T_{\text{dec.m}}$ = Tempo de decolagem médio no aeroporto, em segundos

$T_{\text{dec.}}$ = Tempo de decolagem, de acordo com o tamanho da aeronave, em segundos

$M = Mix$ de aeronaves, de acordo com o tamanho das mesmas, em porcentagem

Com isso, neste método alternativo, o único impedimento da capacidade teórica máxima de operações em uma hora é a regulamentação da mínima distancia de separação entre as aeronaves no pouso.

O cálculo do tempo de separação médio entre aeronaves começa com a comparação entre as distâncias mínimas de separação.

Porém, primeiro, são utilizados os dados da Tabela 3, que mostra uma aeronave-tipo para cada tamanho de acordo com a classificação acima e seu respectivo peso máximo de decolagem, para que se tenha uma maior abrangência para cada situação de separação que o DECEA propõe. Na Tabela 3 também é exposto qual seria a classificação do tamanho de aeronave pelo DECEA de acordo com o MTOW.

Tabela 3: Peso máximo de decolagem para cada tamanho de aeronave.

Tamanho	Aeronave-tipo	MTOW (kg)	Classificação DECEA
MG	B747	396.890	Pesada
G	B737	61.400	Média
M	F100	44.450	Média
P	E120	11.500	Média
MP	C208	3.630	Leve

Fonte: AUGUSTO (2007).

Com a classificação de tamanho de aeronave, é possível construir as Tabelas 4 e 5 que mostram as operações com um tamanho de aeronave e suas respectivas separações mínimas.

Em relação às distâncias da separação radar, estas são definidas pelo DECEA em milhas náuticas (NM, do inglês *nautical miles*) e podem ser verificadas na Tabela 4.

As distâncias mínimas, expressas em segundos, da separação convencional estão dispostas na Tabela 5.

Tabela 4: Distâncias mínimas de separação radar, em milhas náuticas.

		Aeronave atrás									
		MG Dec.	G Dec.	M Dec.	P Dec.	MP Dec.	MG Pous.	G Pous.	M Pous.	P Pous.	MP Pous.
Aeronave à frente	MG Dec.	4	5	5	5	6	4	5	5	5	6
	G Dec.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	M Dec.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	P Dec.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	MP Dec.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	MG Pous.	-	-	-	-	-	4	5	5	5	6
	G Pous.	-	-	-	-	-	5	5	5	5	5
	M Pous.	-	-	-	-	-	5	5	5	5	5
	P Pous.	-	-	-	-	-	5	5	5	5	5
	MP Pous.	-	-	-	-	-	5	5	5	5	5

Fonte: DECEA (2017a).

As distâncias da separação radar definidas em milhas náuticas devem ser transformadas em segundos para que uma comparação possa ser feita com as distâncias da separação convencional, já definidas em segundos.

Com as informações da Tabela 6 sobre as velocidades das aeronaves nas operações de pouso e decolagem e com aplicação da equação da velocidade, onde a distância é dividida pelo tempo, é obtida a distância mínima de separação radar em segundos (Tabela 7).

Tabela 5: Distâncias mínimas da separação convencional, em segundos.

		Aeronave atrás									
		MG Dec.	G Dec.	M Dec.	P Dec.	MP Dec.	MG Pous.	G Pous.	M Pous.	P Pous.	MP Pous.
Aeronave à frente	MG Dec.	-	120	120	120	180	-	120	120	120	180
	G Dec.	-	-	-	-	180	-	-	-	-	180
	M Dec.	-	-	-	-	180	-	-	-	-	180
	P Dec.	-	-	-	-	180	-	-	-	-	180
	MP Dec.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	MG Pous.	-	-	-	-	-	-	120	120	120	180
	G Pous.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	180
	M Pous.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	180
	P Pous.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	180
	MP Pous.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: DECEA (2017a).

Tabela 6: Velocidades médias das aeronaves de acordo com operação e tamanho.

Tamanho	Decolagem (s)		Pouso (s)	
	V_m (nós)	V_m (m/s)	V_m (nós)	V_m (m/s)
MG	140	72,02	160	82,31
G	110	56,59	140	72,02
M	110	56,59	140	72,02
P	90	46,30	130	66,88
MP	70	36,01	100	51,44

Fonte: AUGUSTO (2007).

Tabela 7: Distâncias mínimas da separação radar, em segundos

		Aeronave atrás									
		MG Dec.	G Dec.	M Dec.	P Dec.	MP Dec.	MG Pous.	G Pous.	M Pous.	P Pous.	MP Pous.
Aeronave à frente	MG Dec.	103	129	129	129	154	103	129	129	129	154
	G Dec.	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164
	M Dec.	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164
	P Dec.	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	MP Dec.	257	257	257	257	257	257	257	257	257	257
	MG Pous.	-	-	-	-	-	90	113	113	113	135
	G Pous.	-	-	-	-	-	129	129	129	129	129
	M Pous.	-	-	-	-	-	129	129	129	129	129
	P Pous.	-	-	-	-	-	138	138	138	138	138
	MP Pous.	-	-	-	-	-	180	180	180	180	180

Fonte: DECEA (2017a).

Com a comparação das Tabelas 5 e 7, é montada a Tabela 8, onde os mínimos de cada tipo de separação são verificados e o menor valor entre eles é definido como a distância mínima em cada caso.

Tabela 8: Matriz final das distâncias mínimas de separação, em segundos.

		Aeronave atrás									
		MG Dec.	G Dec.	M Dec.	P Dec.	MP Dec.	MG Pous.	G Pous.	M Pous.	P Pous.	MP Pous.
Aeronave à frente	MG Dec.	103	120	120	120	154	103	120	120	120	154
	G Dec.	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164
	M Dec.	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164
	P Dec.	200	200	200	200	180	200	200	200	200	180
	MP Dec.	257	257	257	257	257	257	257	257	257	257
	MG Pous.	-	-	-	-	-	90	113	113	113	135
	G Pous.	-	-	-	-	-	129	129	129	129	129
	M Pous.	-	-	-	-	-	129	129	129	129	129
	P Pous.	-	-	-	-	-	138	138	138	138	138
	MP Pous.	-	-	-	-	-	180	180	180	180	180

Fonte: DECEA (2017a).

Logo, para o cálculo do tempo de separação médio, é utilizada uma metodologia encontrada em HORONJEFF et. al. (2010). Apresentada como *The Error-Free Case*, é necessário montar uma matriz de intervalos de tempo entre operações, como no caso da Tabela 8 para se obter um tempo ponderado. Para o cálculo, é utilizada a Equação 5:

$$E(\Delta T_{ij}) = \sum p_{ij} M_{ij} = \sum [p_{ij}] [M_{ij}] \quad (5)$$

Onde:

$E(\Delta T_{ij})$ = Tempo médio ponderado

$[p_{ij}]$ = Matriz das probabilidades de ocorrer certo caso numa pista, como uma aeronave média pousar depois de uma grande decolar

$[M_{ij}]$ = Matriz intervalos mínimos de tempo entre operações

O tempo de ocupação de pista por aeronaves é calculado pelo *software* REDIM.

Dessa forma, segundo AUGUSTO (2007), fica definido então que a capacidade teórica máxima horária é encontrada através da Equação 6:

$$N_{\text{mov.}} = 3600 / (((T_{\text{dec.}} + ROT) / 2) + T_{\text{sep.}}) \quad (6)$$

Onde:

$N_{\text{mov.}}$ = Número de movimentos (operações) por hora

$T_{\text{dec.}}$ = Tempo de decolagem, em segundos

ROT = Tempo de ocupação da pista, em segundos

$T_{\text{sep.}}$ = Tempo de separação entre aeronaves, em segundos

É importante citar que, nesta metodologia, os atrasos, que afetam o número de movimentos em um período de tempo, não são considerados.

2.4 *Software* REDIM

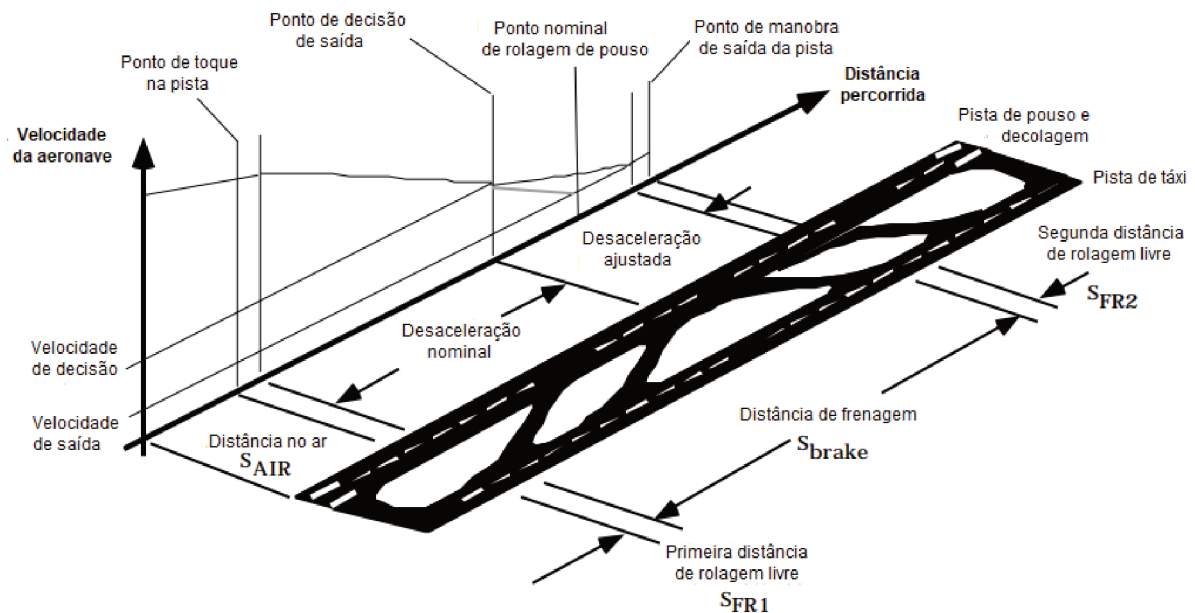
Desenvolvido pela Virginia Tech, Universidade dos Estados Unidos da América localizada em Blacksburg no estado da Virgínia, através de seu Centro de Pesquisas em Transportes, o *Runway Exit Interactive Design Model* (REDIM) é um *software* gratuito com objetivo de tornar mais rápido o planejamento de uma pista de pouso e decolagem ao encontrar, não somente a localização ideal, como também uma melhor geometria das saídas de uma pista através de análise que ocorre sobre condições realísticas.

Com patrocínio da FAA e da Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço dos Estados Unidos (NASA, do inglês *National Aeronautics and Space Administration*), o REDIM apresenta quatro tipos de análise: 1) *design* de uma nova pista para instalação, 2) melhoria de uma pista existente, 3) avaliação de uma pista de pouso e decolagem existente e 4) avaliação de comportamento individual de uma aeronave do momento de toque na pista até desaceleração a velocidade de táxi.

A análise feita neste trabalho é a terceira citada acima, para que o REDIM analise e dê como resposta valores de ROT, definido pelo tempo consumido por uma aeronave desde o instante que esta cruza a cabeceira da pista de pouso e decolagem até esta estar liberada. O REDIM foi empregado também em AUGUSTO (2007)

Na Figura 5, do *REDIM 2.1 User's Manual* (1997), manual do usuário do REDIM, é possível notar os dois fatores que mais influenciam no ROT, as fases de frenagem e de manobra para saída de pista, que tomam por volta de 60% e 25% do tempo total de ocupação de pista, respectivamente.

Figura 5: As fases no pouso de uma aeronave.



Fonte: Adaptado de Virginia Tech (1997)

Por se tratar de um programa de computador da década de 1990, o REDIM foi projetado para funcionar no *MS-DOS*, antigo sistema operacional. Assim, foi necessário outro programa de computador gratuito para que fosse possível utilizar o REDIM. *DOSBox* é um *software* que emula um computador *IBM PC* e, dessa forma, permite que programas de computadores de *MS-DOS* funcionem em um computador atual que não possui tal suporte, devido a incompatibilidade entre o software antigo com sistemas operacionais atuais.

Conforme consta em Virginia Tech (1997): “A abordagem usada no desenvolvimento do REDIM é uma combinação do modelo de simulação de Monte Carlo para representar o comportamento randômico de distribuições de pousos de aeronaves conjugado a uma rotina de otimização de programação dinâmica para escolha da melhor saída a partir de um grande conjunto de opções”.

Além disso, o *software* utiliza equações cinéticas que incorporam um algoritmo pseudolinear de desaceleração heurística para simular o comportamento de uma aeronave em uma pista de pouso e decolagem.

2.4.1 Método de Monte Carlo

Metodologia estatística que se apoia em uma larga quantidade de amostragens aleatórias para encontrar resultados próximos de reais (aproximação da solução), o Método de Monte Carlo, segundo FERNANDES (2005), “um método universal para a solução de problemas matemáticos”,

foi primeiro apresentado no artigo *Monte Carlo Method*, publicado por John Von Neumann e Stanislaw Ulam, dois matemáticos.

O Método de Monte Carlo possibilita simular qualquer processo no qual a execução é dependente de fatores aleatórios (FERNANDES, 2005). Como outra forma de explicar o a metodologia, é possível dizer que o mesmo permite que sejam feitos testes com variáveis um número muito grande de vezes para ter a chance de algum resultado com mais precisão acontecer.

Segundo Virginia Tech (1997), “a técnica de simulação de Monte Carlo foi usada primeiramente para estimar as dispersões de distâncias do movimento das aeronaves do momento de toque na pista até a desaceleração com uso de distribuições normais da aeronave para alguns dos parâmetros da aeronave que ditaram o desempenho deste movimento”.

Com um número grande de dispersões (variáveis), através do método de Monte Carlo, é possível chegar com mais precisão a um dado mais definitivo sobre o tempo que a aeronave demora pra fazer o movimento de desaceleração até atingir uma velocidade de táxi para então sair da pista e liberar a mesma para outra operação.

3 Aeroporto Internacional de Florianópolis

No Brasil, Florianópolis é a capital do estado de Santa Catarina e o aeroporto internacional da cidade tem FLN como sigla segundo a Associação Internacional de Transporte Aéreo (IATA, do inglês *International Air Transport Association*) e SBFL de acordo com a ICAO. Doravante, neste trabalho, o Aeroporto Internacional de Florianópolis - Hercílio Luz é citado por FLN.

Conforme a página na *internet* da Infraero (<<http://www4.infraero.gov.br/aeroportos/aeroporto-internacional-de-florianopolis-hercilio-luz/sobre-o-aeroporto/caracteristicas/>>), em relação à estrutura atual, o terminal de passageiros tem 9.440m², o estacionamento de veículos suporta 539 vagas, o estacionamento de aeronaves de aviação geral tem 5 posições e o de aeronaves da aviação regular tem 9 posições. O pátio de aeronaves tem 20.187m² e o sítio aeroportuário tem 9.086 milhões de m².

O aeroporto possui duas pistas, 14/32 e 03/21, a primeira com dimensões de 2.300m x 45m e a segunda com 1.500m x 45m. Atualmente, somente a maior pista é utilizada para voos regulares. A pista 03/21 tem somente 1.360m utilizáveis dos 1.500m e também só opera VFR, o que a faz adequada para aeronaves de pequeno porte. Outro aspecto que dificulta a operação nela é que a cabeceira 21 está direcionada para o Morro da Cruz, local com diversas antenas das emissoras de televisão. Estrategicamente são colocados aviões monomotor e outras aeronaves de pequeno porte na pista 03/21, quando o dia está visual, e desta forma são minimizados os riscos de uma pane na pista principal e a consequente interdição da mesma.

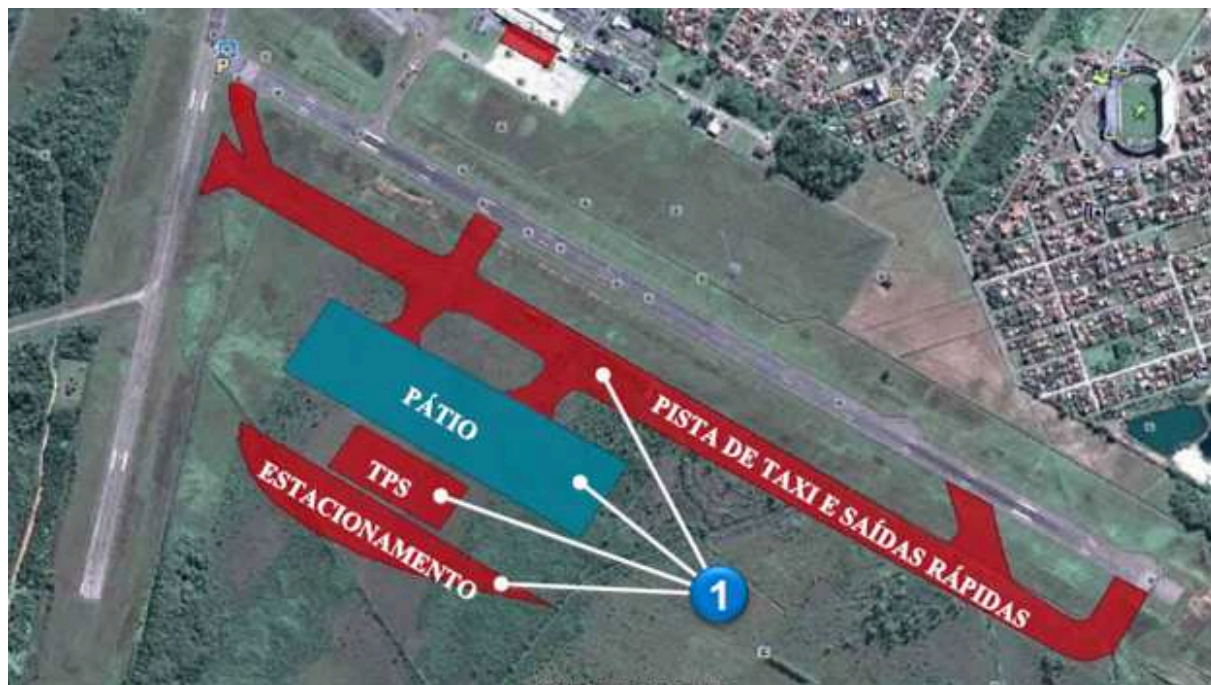
A capacidade do FLN é definida em 4,1 milhões de passageiros por ano e será incrementada no futuro, já que melhorias são previstas neste novo período de 30 anos em que a Zurich Airport AG tem o direito de administrar o FLN. Segundo a página na internet do portal de notícias ND Online (<<https://ndonline.com.br/florianopolis/noticias/concessionaria-apresenta-detalhes-do-floripa-airport-o-novo-aeroporto-da-capital>>), a concessionária espera que a inauguração do novo terminal dobre a capacidade do aeroporto.

As melhorias previstas num período de 8 anos, ou seja, até 2025 contam com a construção de uma nova pista de taxiamento, de um novo pátio para aviação regular, de 63 mil m² e de um novo TPS de dois pavimentos (com terraço-mirante para apreciação das aeronaves nas operações de decolagem e pouso) com 66.000 m². Imagens de como ficará o novo terminal podem ser verificadas nas Figuras 8 e 9. Além disso, a reforma do atual terminal para que se torne um terminal de aviação geral e um novo estacionamento em frente ao terminal a ser erguido, com 65.000m², como pode ser visto na Figura 6.

O limite do sítio aeroportuário pode ser verificado na Figura 7, este é definido pela linha amarela, a seção em amarelo mais escuro, representa o local das novas instalações.

Segundo a página na internet do portal de notícias G1 SC (<<https://g1.globo.com/sc/santa->

Figura 6: Obras que serão realizadas no sítio aeroportuário.



Fonte: <www2.fiescnet.com.br/web/uploads/recursos/3512e8858309c06d28da4ebbea662bd8.pdf>

Figura 7: Sítio aeroportuário do aeroporto de Florianópolis.



Fonte: <www2.fiescnet.com.br/web/uploads/recursos/3512e8858309c06d28da4ebbea662bd8.pdf>

catarina/noticia/empresa-concessionaria-muda-nome-para-floripa-airport-para-operar-o-aeroporto-hercilio-luz-em-florianopolis.ghml>), a Zurich Airport AG definiu como Floripa Airport o novo nome do aerodrómo, o Aeroporto Internacional de Florianópolis - Hercílio Luz seguirá como um nome secundário.

Figura 8: Fachada frontal do novo terminal de passageiros.



Fonte: <<https://floripa-airport.com/#novoterminal>>

Figura 9: Fachada lateral do novo terminal de passageiros.

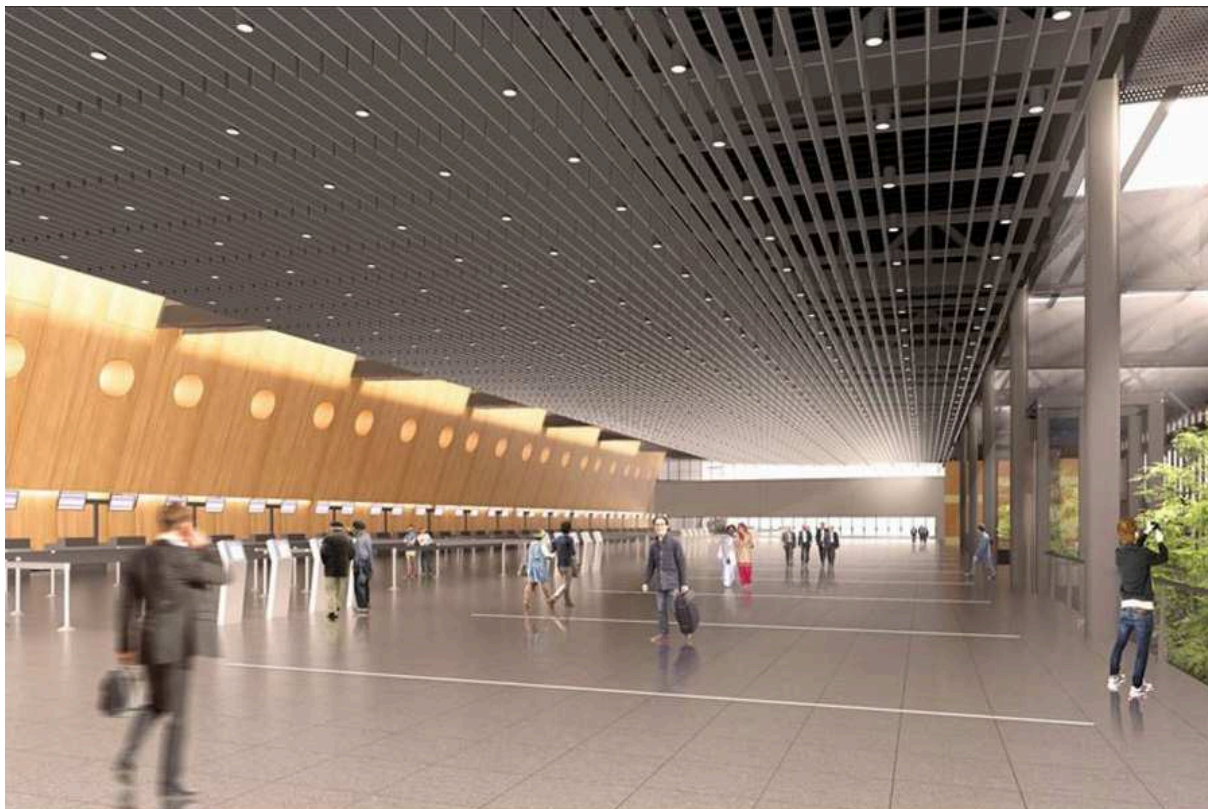


Fonte: <<https://floripa-airport.com/#novoterminal>>

Ainda sobre o novo terminal de passageiros a ser construído, o mesmo possuirá 40 guichês para *check-in*, como na Figura 10, e 8 esteiras de bagagem (6 domésticas e 2 internacionais).

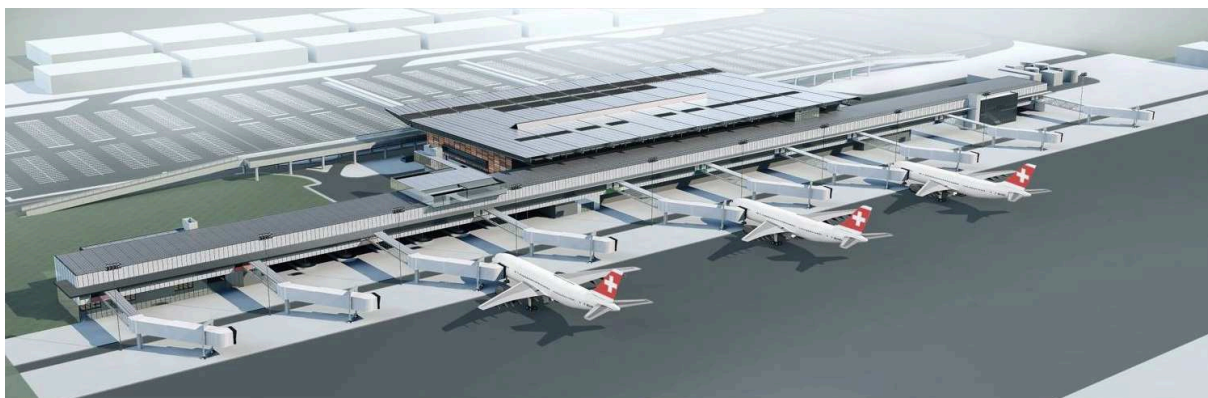
São previstos também 15 portões de embarque, no mínimo, os quais seriam 12 domésticos e 3 internacionais, com a utilização de 10 pontes de embarque cobertas para transporte dos passageiros até a aeronave, vistas como na Figura 11, um dispositivo que não existe atualmente no aeroporto de Florianópolis.

Figura 10: Guichês para *check-in* no novo terminal.



Fonte: <<https://floripa-airport.com/#novoterminal>>

Figura 11: Portões de embarque equipados com pontes de embarque cobertas.

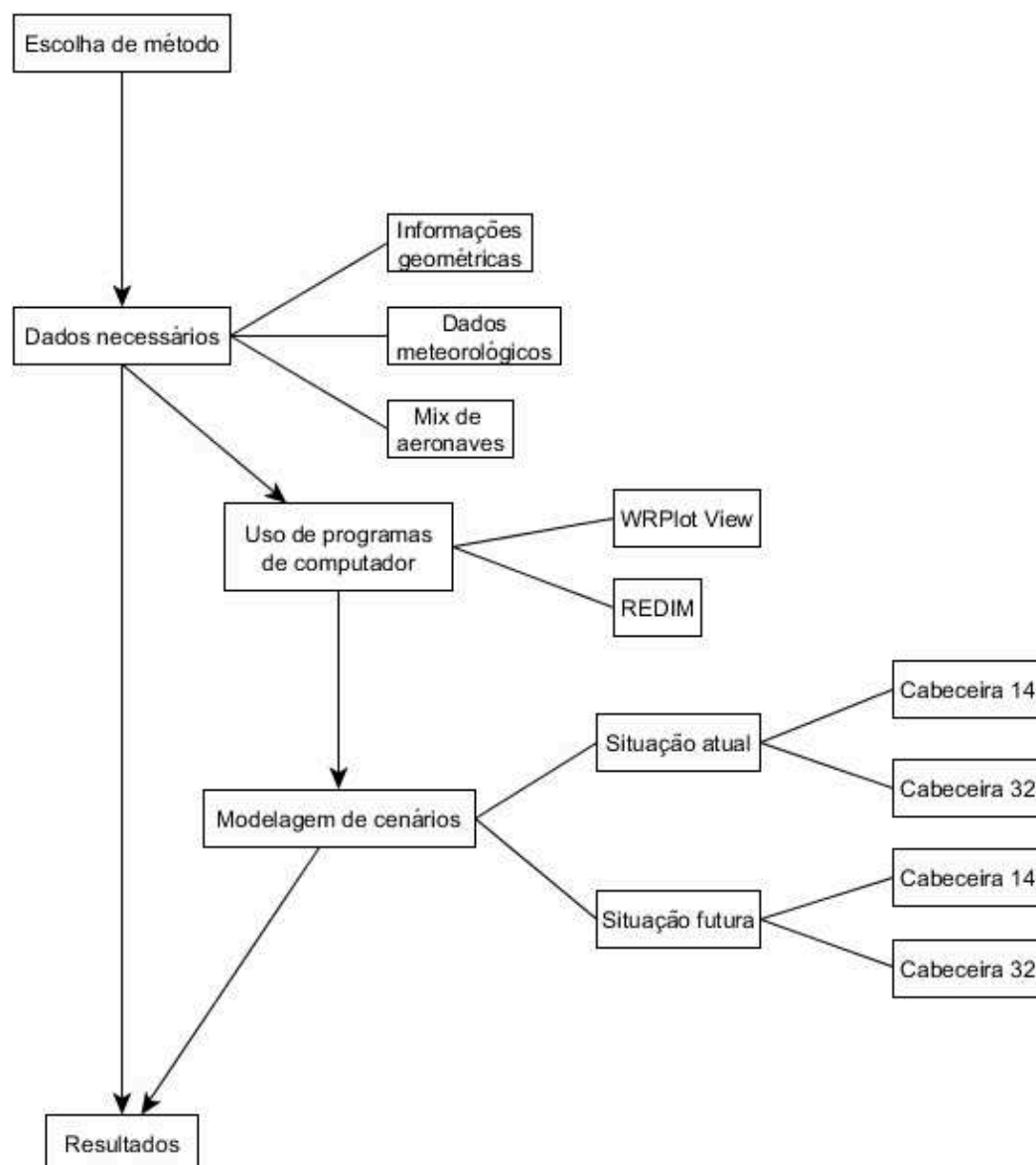


Fonte: <<https://floripa-airport.com/#novoterminal>>

4 Metodologia

A metodologia utilizada neste trabalho segue a sequência mostrada na Figura 12 a partir da escolha do método apresentado em 2.3.3. Depois são obtidos os dados necessários, tanto para a aplicação em equações quanto para o uso em *software*, em que cenários são modelados para obtenção de valores a serem também aplicados em equações para que, na última etapa, resultados sejam gerados.

Figura 12: Fluxograma do método.



4.1 Obtenção dos dados

As informações geométricas do aeroporto, o *mix* de aeronaves e dados meteorológicos, foram coletados da literatura e de páginas na *internet* com acesso livre. A seguir, está disposto o que é necessário para que o REDIM calcule o ROT.

4.1.1 Informações geométricas do aeroporto

Apesar de atualmente possuir duas pistas em seu sistema em uma configuração V, o aeroporto de Florianópolis só utiliza uma pista para pousos e decolagens de aviões comerciais. Por isso, é definido que, neste trabalho, a capacidade do sistema de pistas deste aeroporto será dimensionada com a consideração da pista 14/32 apenas.

Para a situação atual, as informações geométricas da pista, em relação a posição e a angulação da única saída, foram coletadas com a utilização da ferramenta *Google Earth*. Para a futura, as novas saídas que a pista de taxi a ser construída proporciona tiveram angulação mensurada de forma trigonométrica, com estas medidas feitas a partir da Figura 6. Conforme consta em Infraero (2017b), atualmente, as dimensões da pista de pouso e decolagem são de 2.300 metros de comprimento e 45 metros de largura e a elevação do FLN é de 5 metros acima do nível do mar, dados que são os mesmos para a situação futura.

As informações geométricas do FLN estão dispostas nas Tabelas 9 e 10.

Tabela 9: Posição das saídas existentes da pista no aeroporto em relação à cabeceira 14.

Aeroporto	Elevação (m)	Dimensão da pista (m)	Cabeceiras	Saídas	Posição da saída (m)	Angulação da saída (°)
FLN/SBFL	5	2300 x 45	14 e 32	1	300	90

Tabela 10: Posição das saídas futuras da pista no aeroporto em relação à cabeceira 14.

Aeroporto	Elevação (m)	Dimensão da pista (m)	Cabeceiras	Saídas	Posição da saída (m)	Angulação da saída (°)
FLN/SBFL	5	2300 x 45	14 e 32	1	0	45
				2	600	90
				3	1800	45
				4	2300	90

Segundo Infraero (2013), a cabeceira 14 tem altitude de 5,10 m e a 32 tem 4,48 m. Na Figura 13, é possível notar que o REDIM requer o gradiente longitudinal (*gradients*) da pista. Logo, este tem o valor de -0,027% para uma aeronave que pousa na cabeceira 14 e de 0,027% para a 32. São considerados os mesmos valores para a situação futura.

Figura 13: Tela para inserção do comprimento da pista de pouso e decolagem e seu gradiente.

Runway Length (m)	Gradients
0 - 230	0.027
230 - 460	0.027
460 - 690	0.027
690 - 920	0.027
920 - 1150	0.027
1150 - 1380	0.027
1380 - 1610	0.027
1610 - 1840	0.027
1840 - 2070	0.027
2070 - 2300	0.027

Evaluate an Existing Runway (Avaliar uma pista existente) é a opção que é selecionada na Figura 14. A partir dessa seleção, abrem-se as opções na direita da tela, onde são colocadas as informações das saídas (*exits*) da pista de pouso e decolagem.

Com a inserção do número de saídas existentes, aparecem os campos de localização (*location*), velocidade máxima para saída da pista (*speed*) e tipo (*type*), onde a angulação é informada, que são editados com os dados encontrados na Tabela 10.

Aqui encontra-se um campo que influencia os resultados dos tempos de ocupação de pista: a velocidade máxima para saída. Isto se explica por motivo simples, quanto maior este valor, mais rápido a aeronave libera a pista depois de pousar. Os valores escolhidos de velocidade máxima para cada angulação de saída, de 20 m/s para 45° e de 10 m/s para 90°, foram determinados após análise de exemplos do manual do REDIM.

Figura 14: Tela para inserção do número e características das saídas.



4.1.2 Dados meteorológicos

O REDIM, no cálculo do ROT, necessita de dados com relação ao vento, à chuva e à temperatura de referência do aeródromo.

Sobre o primeiro citado, se faz necessário a direção predominante dos ventos e a velocidade média deles. Para isto, foram utilizadas informações da Administração Oceânica e Atmosférica Nacional (NOAA, do inglês *National Oceanic and Atmospheric Administration*) dos Estados Unidos da América, a respeito da estação meteorológica presente no aeroporto.

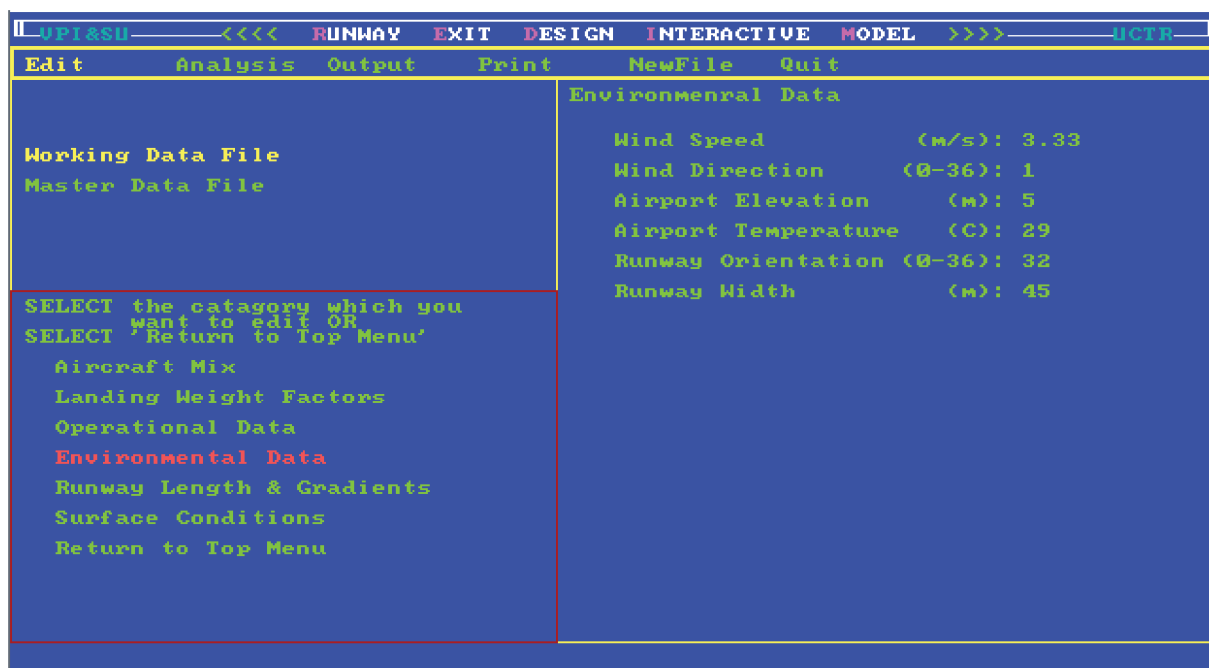
A página na *internet* da NOAA (<<https://www1.ncdc.noaa.gov/pub/data/noaa/>>) reserva dados de estações ao redor do mundo e, somente desta localizada no FLN, guarda dados desde o ano de 1973. Esta se encontra na latitude 27°40'12"S e longitude 48°32'49"W em uma elevação de 6,10 metros.

Na Figura 15, estão os principais dados coletados sobre o vento, como velocidade média (*wind speed*), direção predominante (*wind direction*) e temperatura do aeroporto (*airport temperature*). Como é possível perceber, nesta tela é onde é inserida a orientação da pista de pouso e decolagem (*runway orientation*) e sua largura (*runway width*).

Foi empregado o *software WRPLOT View* para a análise das características citadas. Foram recolhidos dados que compreendem um período do primeiro dia do ano de 2013 até 18 de setembro de 2017.

Desenvolvido pela *LAKES Environmental*, companhia criada em 1995 no Canadá, este pro-

Figura 15: Tela para inserção de dados do meio ambiente.



grama de computador gratuito trabalha com a análise de dados meteorológicos e proporciona de forma visual a rosa dos ventos, que retrata a frequência da ocorrência dos ventos em direções e classes de velocidade para uma determinada localidade, como também apresenta diferentes gráficos com características dos ventos.

Os dados em relação aos ventos no FLN estão expostos na Tabela 11.

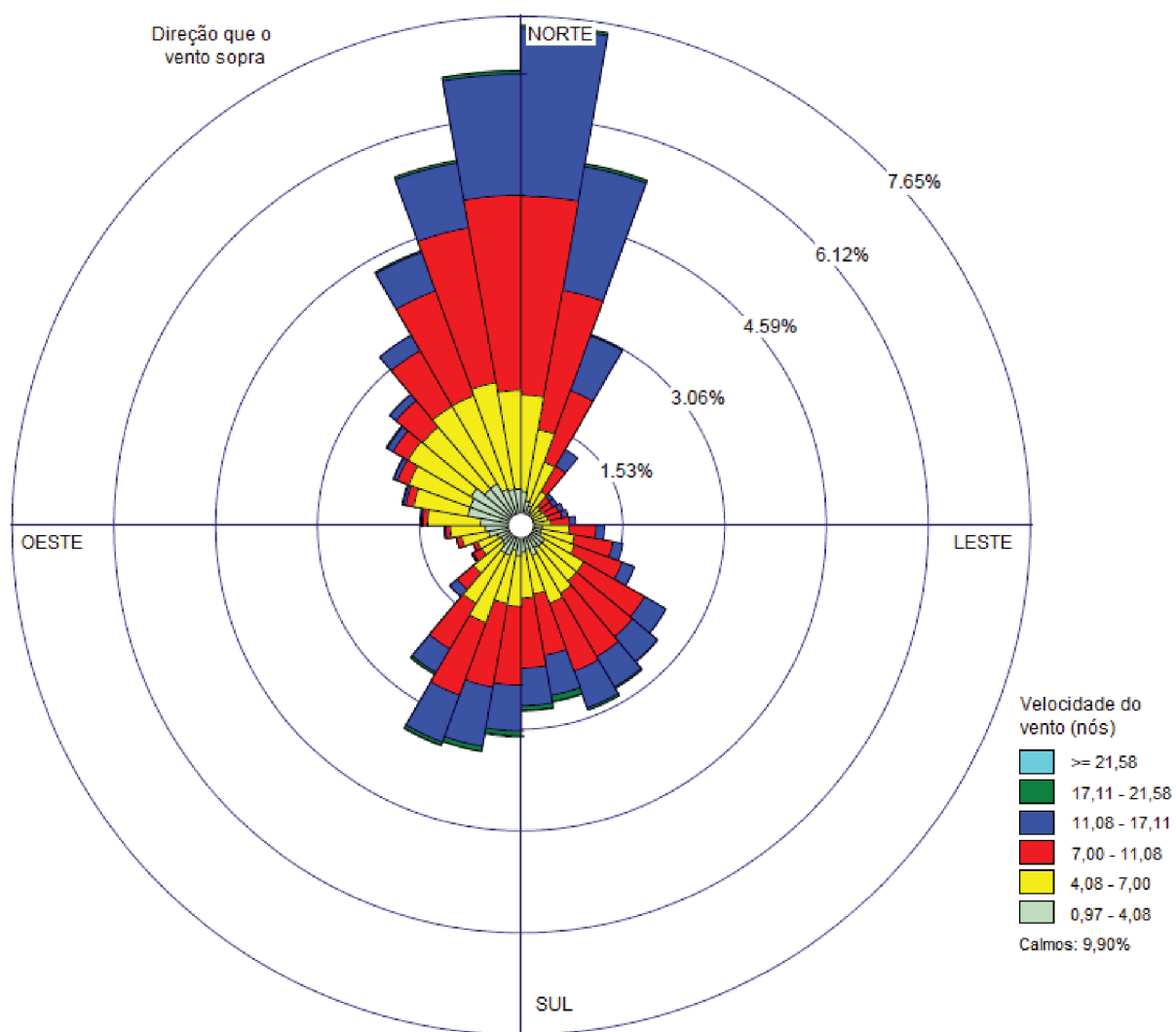
Tabela 11: Dados do vento.

Número total de horas registradas:	41007
Velocidade média dos ventos (nós):	6,48
Direção predominante dos ventos (em relação ao norte verdadeiro):	10°

Fonte: NOAA.

As Figuras 16, 17 e 18 são geradas pelo *WRPlot View*. A primeira mostra a rosa dos ventos do FLN, em relação ao norte verdadeiro. Nela é possível perceber a porcentagem dos ventos que sopram do norte. O *WRPlot View* também permite posicionar a rosa dos ventos para seu local de origem com auxílio do *Google Earth*. A Figura 17 mostra a transposição para a localização da estação no FLN. A Figura 18 mostra a distribuição da frequência dos ventos, onde é possível notar uma regularidade maior de ventos com velocidade de 4 a 11,08 nós (2,1 a 5,7 m/s).

Figura 16: Rosa dos ventos com as cores que indicam a velocidade dos ventos em nós.



Fonte: NOAA. Adaptado de *WRPlot View*.

Figura 17: Imagem da rosa dos ventos posicionada no Aeroporto Internacional Hercílio Luz.

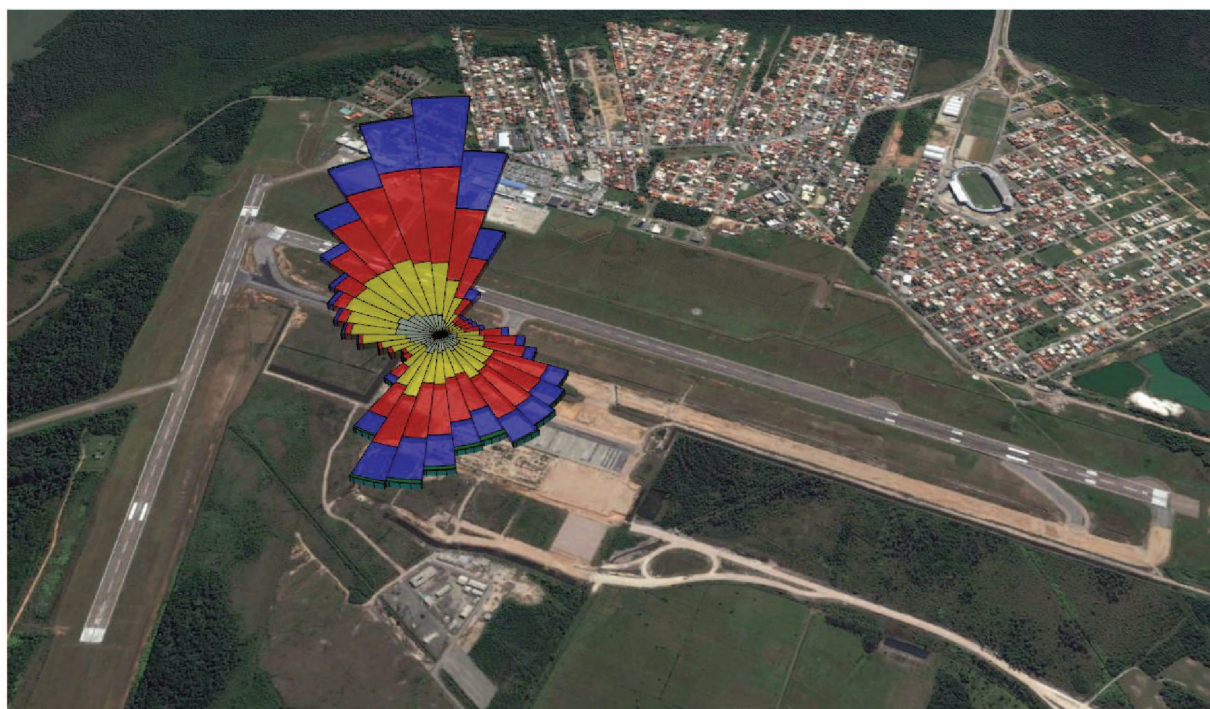
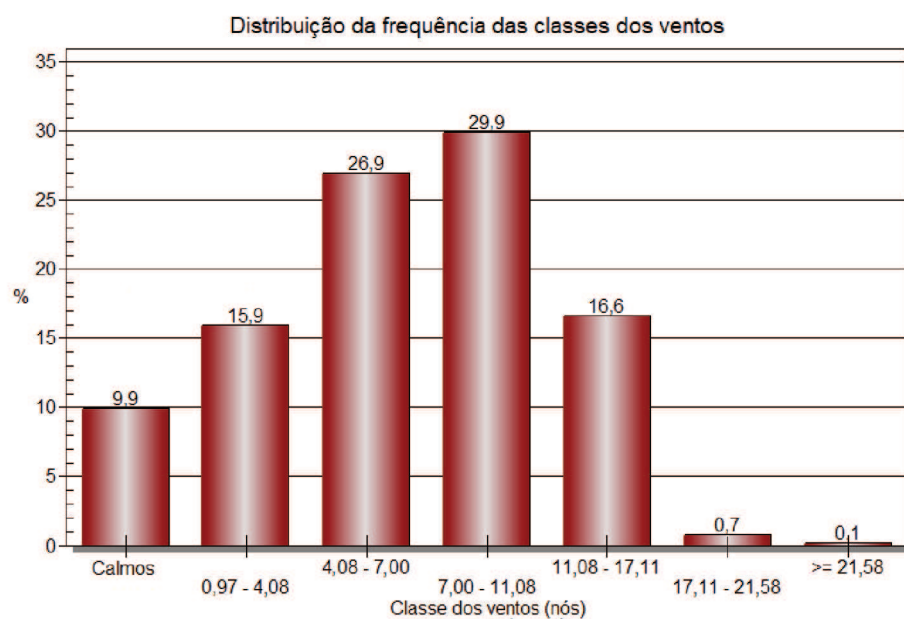


Figura 18: Gráfico da distribuição de frequência dos ventos em classes de acordo com a velocidade em nós.



Fonte: NOAA. Adaptado de *WRPlot View*.

É feita a seguir, através da ferramenta *Standard Wind Analysis* na página na *internet* da FAA (<<https://airports-gis.faa.gov/agis/publicToolbox/windroseForm.jsp>>), a checagem de qual é a porcentagem que a orientação de pista do FLN cobre em relação aos ventos.

A FAA, através de sua circular AC 150/5300-13, padroniza e recomenda configurações geométricas para o *design* de pistas de pouso e decolagem, de táxi e outras instalações em um aeroporto.

Em relação a orientação da pista de pouso e decolagem, de acordo com FAA (2014), esta deve ser orientada na direção dos ventos predominantes, com uma velocidade de vento cruzado permitida no momento de pouso de acordo com características da pista, assim, as aeronaves devem poder pousar 95% do tempo, no mínimo, com componente do vento cruzado menor do que o permitido.

Como visto na Figura 19, a ferramenta pede a velocidade do vento cruzado. De acordo com FAA (2014), foi definido o valor de 16 nós, permitido devido ao *Runway Design Code* do FLN, que é C-III por causa da velocidade de aproximação e design das aeronaves que operam no aeroporto. Para o vento de cauda foi indicado o valor de 60 nós para atestar que a pista era bidirecional.

Figura 19: Tela de entrada de dados do site da FAA para checagem de cobertura dos ventos.

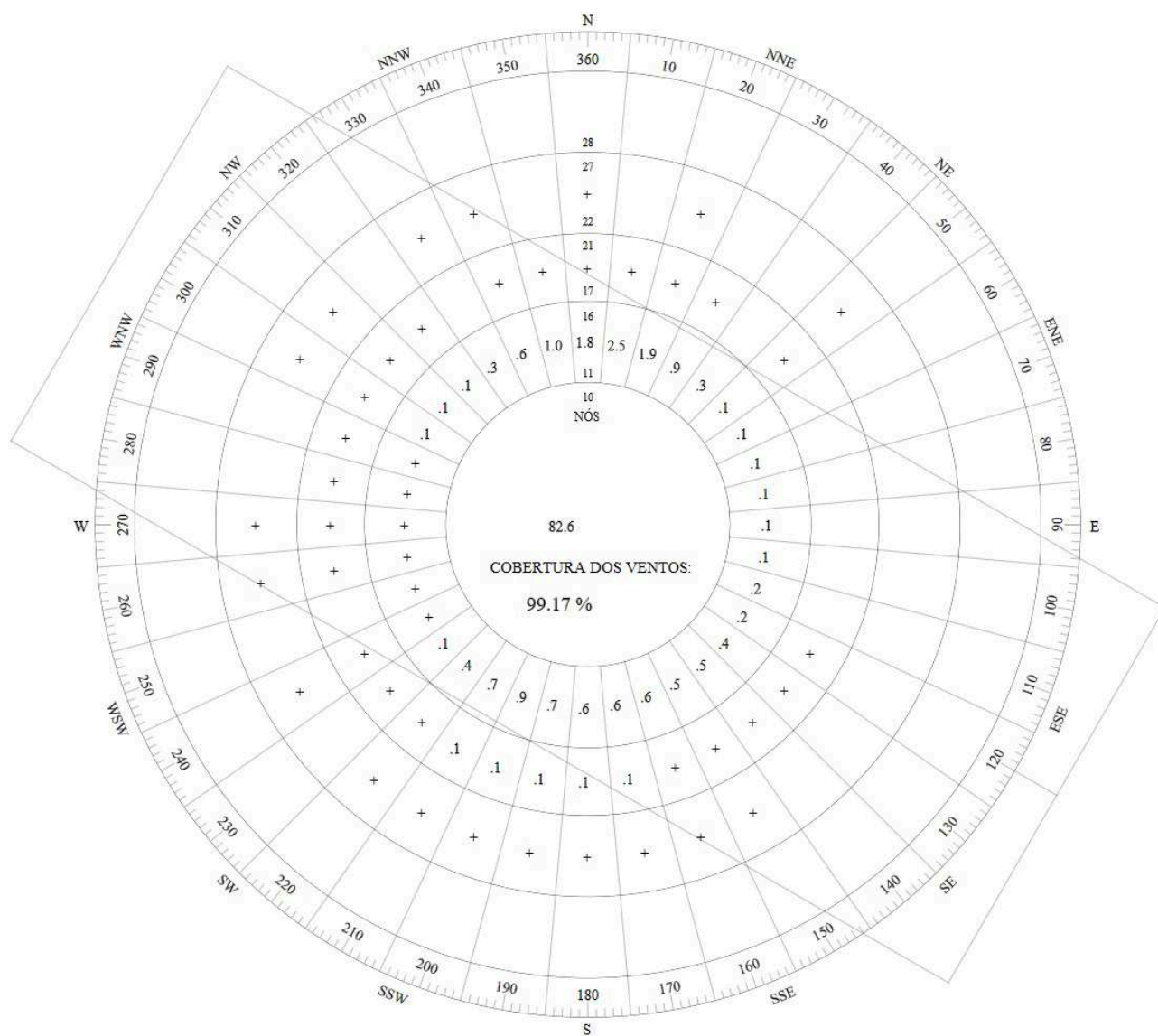
Número de pistas:	1 ▼	Pista 1
Orientação da pista (norte verdadeiro):	120.0	
Componente do vento cruzado:	16.0	
Componente do vento de cauda:	60.0	
Nota: Use vento de cauda de 60 nós para indicar que a pista é bidirecional		
<hr/>		
Cobertura dos ventos:	99.95%	
<hr/>		

Fonte: Adaptado de <<https://airports-gis.faa.gov/agis/publicToolbox/windroseForm.jsp>>.

Após, deve ser inserido na ferramenta todos os registros de ventos com sua classe de velocidade e direção. Para isso, foi utilizado outro *software* de acesso livre, o *Notepad++*, um editor de texto plano. Os dados que o *WRPLOT View* gerou foram exportados para um formato de texto plano (CSV, *Comma-Separated Values*) e foi elaborado um arquivo PRN com o editor de texto, carregado na página com a utilização da função *Upload Wind Data File*. A quantidade de registros de ventos por hora com as respectivas velocidades e direções estão dispostas no Anexo A.

O resultado, mostrado na Figura 20, demonstra que a pista de pouso e decolagem de cabeceiras 14 e 32 do FLN possui uma cobertura de 99,95% dos ventos, mais do que o recomendado pela FAA.

Figura 20: Gráfico da cobertura dos ventos da pista de pouso e decolagem.



Fonte: Adaptado de <<https://airports-gis.faa.gov/agis/publicToolbox/windroseForm.jsp>>.

A porcentagem do tempo que a pista de pouso e decolagem está molhada é outro dado meteorológico que o REDIM requer. Sobre esta, não foram encontradas informações recentes.

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a Sociedade Brasileira de Meteorologia (SBMET) e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), com seu Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), não possuem essa específica informação que o *software* necessita.

Por isso, são utilizados dados do período entre 1997 e 1999 que foram coletados por satélites climáticos na elaboração de mapas pelo *Global Precipitation Climatology Project* (Projeto Climatológico Global de Precipitações), do *Climate Prediction Center* (CPC), instituto dos Estados Unidos da América.

Os mapas utilizados para achar a porcentagem do tempo que a pista está molhada são os que indicam a porcentagem do tempo que ocorreu precipitação em um ponto da grade em certo mês (Figura 21) e a porcentagem da área da grade que houve precipitação no mês (Figura 22). Segundo AUGUSTO (2007), "considerando o aeroporto como um ponto, já que suas dimensões são consideradas insignificantes perto das dimensões de cada grade, a probabilidade de ocorrer chuva em determinado mês é o produto entre a porcentagem do tempo que ocorreu precipitação em qualquer ponto da grade e a porcentagem da área da grade onde ocorreu precipitação."

Somente estão disponíveis os mapas dos meses de janeiro e julho para os dois casos citados acima na página na *internet* do CPC (<http://www.cpc.noaa.gov/products/global_precip/html/wpage.gspdc.shtml>).

Neste trabalho, foi considerado o mês de julho, visto que é o mês mais próximo de agosto, período selecionado para análise do *mix* de aeronaves.

A Tabela 12 mostra a porcentagem do tempo que a pista está molhada:

Tabela 12: Dados sobre os mapas do CPC.

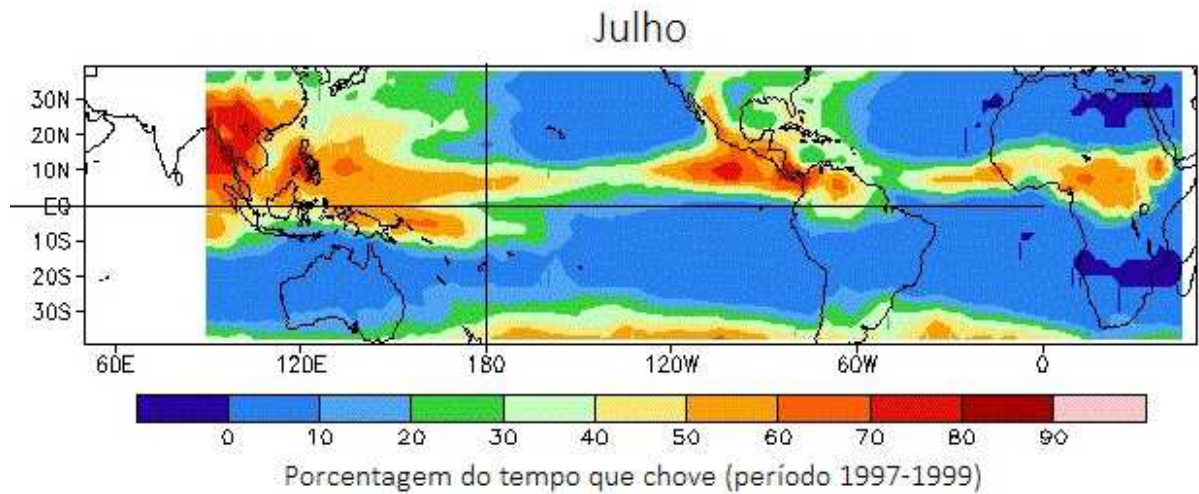
Porcentagem da área que está chovendo:	9,0%
Porcentagem do tempo que está chovendo:	40,0%
Porcentagem do tempo que a pista está molhada:	3,6%

Apesar de parecer uma porcentagem baixa, esta representa uma média de 52 minutos de chuva por dia durante o mês de julho.

Sobre a temperatura de referência do aeroporto, esta é de 29°C (Infraero, 2013).

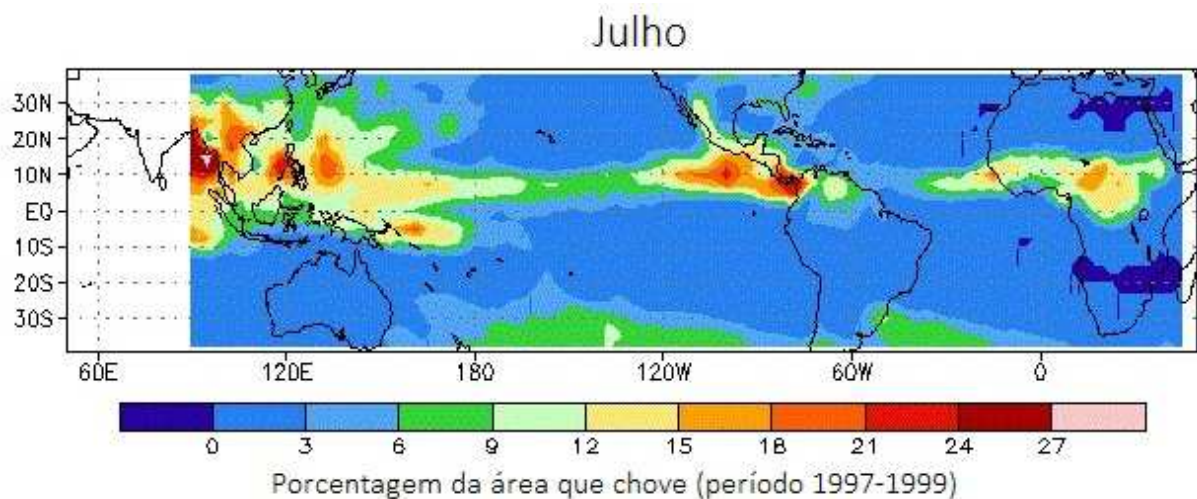
Para a situação futura do aeroporto, os dados meteorológicos utilizados são os mesmos.

Figura 21: Mapa da porcentagem do tempo que choveu.



Fonte: <http://www.cpc.noaa.gov/products/global_precip/html/wpage.gspdc.shtml>

Figura 22: Mapa da porcentagem da área onde choveu.



Fonte: <http://www.cpc.noaa.gov/products/global_precip/html/wpage.gspdc.shtml>

4.1.3 *Mix* de aeronaves

A base HOTRAN, fornecida pela ANAC através de página na *internet* (<<http://www2.anac.gov.br/hotran/>>), detalha, em forma de uma planilha *EXCEL* atualizada diariamente, voos regulares que trafegam por aeroportos brasileiros com informações do número e data do voo, a sigla ICAO do aeroporto de origem e o de destino, a aeronave utilizada e sua respectiva capacidade de passageiros, além de mostrar a empresa responsável pelo voo.

Para encontrar o *mix* de aeronaves do FLN, a base HOTRAN da semana dos dias 24 a 31 de agosto foi analisada e as aeronaves que operaram nesse período foram:

- Da empresa Boeing: B722 (ou B727-200), aeronave cargueira, B737 (737-700), com capacidade para 138 passageiros (PAX) e B738 (737-800), com capacidade de 177 PAX.
- Da empresa Airbus: A320, com capacidade de 174 PAX e A319 com capacidade de 144 PAX.
- Da empresa Embraer: E190, com capacidade de 106 PAX e E195 com capacidade de 118 PAX.

Nesse período de uma semana, foram constatados 12 voos internacionais, todos com destino/origem na Argentina, no Aeroporto Internacional de Buenos Aires-Ezeiza (IATA: EZE, ICAO: SAEZ). Ocorrem, ainda, voos sazonais do SBFL para Assunção, no Paraguai, e para Santiago, no Chile.

Na Tabela 13, está listada a quantidade registrada de voos com cada respectiva aeronave e a porcentagem desta no *mix*.

Tabela 13: Quantidade de pousos e decolagens de cada aeronave em uma semana.

Aeronave	Quantidade	<i>Mix</i> (%)
B722	10	2
B737	171	29
B738	17	3
A320	211	36
A319	30	5
E190	128	22
E195	15	3
Total	582	100

Fonte: <<http://www2.anac.gov.br/hotran/>>

Para a situação futura do aeroporto, é considerado o mesmo *mix* de aeronaves da situação atual, o que pode acarretar em imprecisão de resultados, visto que, com uma capacidade aumentada devido à nova pista de táxi, a quantidade de cada aeronave que pousa e decola do FLN pode mudar.

Devido, porém, a configuração do REDIM, algumas aeronaves da Tabela 13 não estão disponíveis no *software* para adição e posterior análise, por isso são feitas algumas considerações. A Figura 23 sintetiza essa questão, nesta estão as aeronaves incluídas no *software*. Por ser também um programa de computador que não foi atualizado depois de 1997, não conta com informações, por exemplo, de uma aeronave como a A380 da Airbus, o maior avião comercial do mundo atualmente.

Figura 23: Tela para inserção do *mix* de aeronaves.

TERPS-A	TERPS-B	TERPS-C	TERPS-D	TERPS-E
BE-F33A : 0	BE-58 : 0	Avro RJ85 : 0	A330-300 : 0	F-4 : 0
CE-172 : 0	BE-300 : 0	A300-600 : 0	A340-200 : 0	
CE-182 : 0	BE-400 : 0	A310-300 : 0	B-747-200 : 0	
CE-220 : 0	CE-421 : 0	A320-200 : 0	B-747-400 : 0	
CE-220P : 0	CE-421P : 0	B717-200 : 5	B767-300 : 0	
PA-320 : 0	CE-550 : 0	B727-200 : 5	B777-200 : 0	
PA-320P : 0	CRJ-200 : 0	B737-300 : 0	C-5A : 0	
PA-330 : 0	DA-200 : 0	B737-400 : 0	DC-8-73 : 0	
PA-330P : 0	DHC-7 : 0	B737-500 : 0	DC-10-30 : 0	
PA-42 : 0	DHC-8 : 0	B757-200 : 0	MD-11 : 0	
PA-42P : 0	Do-328 : 0	Bae-146-200 : 0	L1011-500 : 0	
PA-46-310P : 0	Do-728 : 0	CL-601-3A : 0		
	EMB-120 : 0	DC-9-32 : 0		
	EMB145 : 0	Fokker-100 : 0		
	Lear-31 : 0	Gulfstream : 0		
	PA42-1000 : 0	IAI-1124 : 0		
	Saab-340 : 0	Lear55 : 0		
	SA227 : 0	MD-83 : 0		
	Shorts-330 : 0	MD-87 : 0		

NO. of Aircraft = 4
TOTAL Percentage = 100

As aeronaves B738, A319, E190 e E195 não estão incluídas no *software*. No intuito de adicioná-las ao REDIM, foi decidido substituí-las por aquelas que estão presentes no *software* e que tenham características parecidas, com o peso máximo de decolagem (MTOW) como principal fator. Este é o peso máximo da aeronave no início da pista de decolagem. A quantidade de assentos é o fator de desempate.

Por isso, a B738 tem por sua substituta a A320. Enquanto, segundo Boeing Commercial Airplanes (2013), a primeira tem um MTOW de 174.200 lb, a segunda tem 172.000 lb, conforme consta em Airbus Societas Europaeae (2017b). Além disso, possuem uma diferença de somente 3 passageiros.

A A319 tem como substituta a B737, o MTOW da aeronave da Airbus é de 166.000 lb (Airbus Societas Europeae, 2017a), enquanto a da Boeing tem 154.500 lb de MTOW (Boeing Commercial Airplanes, 2013). Apesar da diferença maior em relação ao peso do que no caso acima, quando analisada a quantidade de poltronas, a A319 possui somente 6 assentos a mais do que a B737, critério que determinou a substituição.

No caso dos aviões da Embraer, ambas são substituídas pela B717 (B717-200). O critério do peso máximo de decolagem, apresentou como resultado, um MTOW de 114.199 lb para a E190 (Embraer Sociedade Anônima, 2015a), de 115.280 lb para a E195 (Embraer Sociedade Anônima, 2015b) e de 110.000 lb para a B717 (Boeing Commercial Airplanes, 2014). A aeronave da Boeing tem uma configuração que acomoda até 110 pessoas, o que a deixa com 4 e 8 passageiros de diferença para a E190 e E195, respectivamente.

Desta forma, o *mix* de aeronaves a ser inserido no *software* REDIM é apresentado na Tabela 14.

Tabela 14: *Mix* de aeronaves reformulado para inserção no *software* REDIM.

Aeronave	Quantidade	<i>Mix</i> (%)
B722	10	2
B737	201	35
B717	143	25
A320	228	39
Total	582	100

5 Resultados

5.1 Cálculo do ROT

Calculou-se o ROT em cada sentido de pouso para uma mesma pista. Desta maneira, para as situações atual e futura, foram obtidos dois valores de ROT, nomeados de ROT_1 e ROT_2 , um para cada sentido de pouso, neste caso, a cabeceira 14 e a 32.

Para a situação atual, não foi possível modelar no REDIM o caso da aeronave pousar na cabeceira 14 e precisar dar um giro de 180 graus no final da pista para voltar e sair na única saída disponível. Assim, somente nessa situação, é utilizado o tempo médio de ocupação de pista obtido em visita ao campo no dia 14 de outubro de 2017. De amostragem de 9 pousos no período de 2 horas, das 9:00 às 11:00, o tempo médio de ocupação de pista obtido foi de 3 minutos e 40 segundos, ou 220 segundos.

No primeiro caso, para uma aeronave que pousa na cabeceira 32, as Figuras 24 e 25 indicam, por exemplo, que a chance de uma aeronave A320 pousar em condições de pista seca é de 36,6%, da B717 é de 24,1%, da B727 de 1,9% e da B737 é de 33,7%, o que totaliza 96,3% do tempo. Nota-se o ROT no canto inferior direito que indica 59,03 segundos para esta situação. A Figura 26 mostra como é a pista atualmente e que, quando um avião pousa na cabeceira 32, este tem 2000 metros para desacelerar e sair da pista.

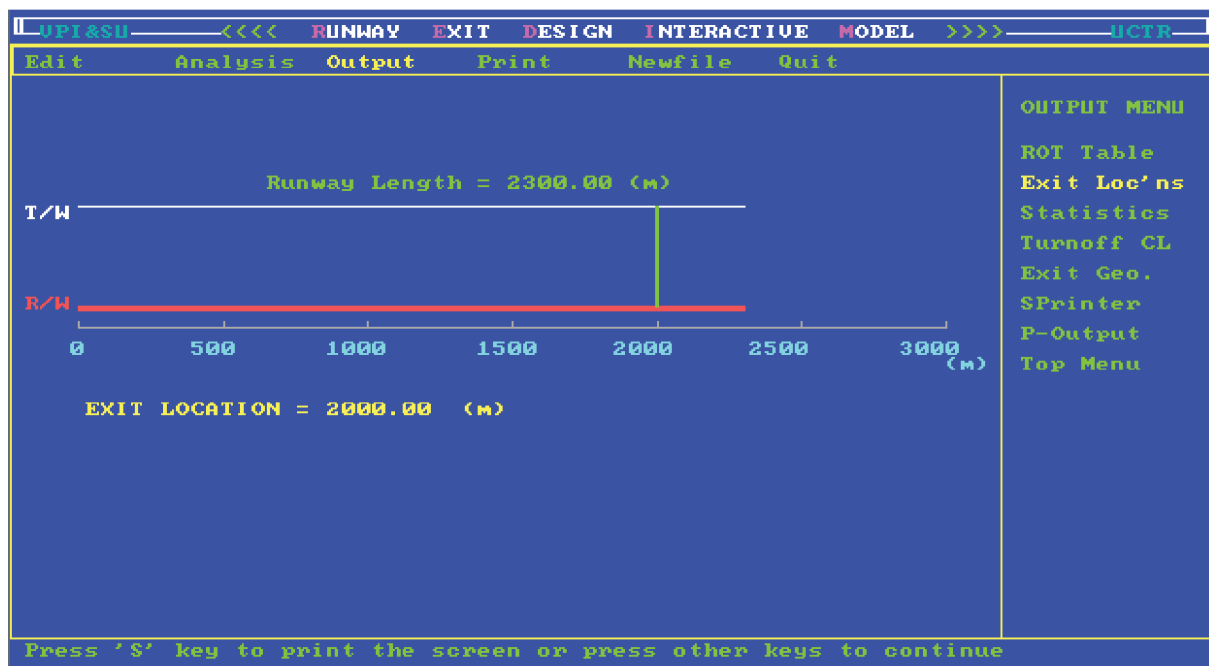
Figura 24: Resultados para a situação atual da cabeceira 32.

UPLASH <<<< RUNWAY EXIT DESIGN INTERACTIVE MODEL >>>> UCTR	
Edit	Analysis Output Print Newfile Quit
ROT/ASSIGNMENT TABLE (This is for Evaluating an Existing Runway)	
Exit #	1
Location (m)	2000.0
Open/Close Exit Type	Open 90-Deg
A320-200	
DRY (36.6%) ROT	59.09
WET (1.4%) ROT	100.00%
B717-200	
DRY (24.1%) ROT	62.28
WET (0.9%) ROT	100.00%
B727-200	
DRY (1.9%) ROT	59.14
WET (0.1%) ROT	100.00%
ROT - Runway Occupancy Time in Secs Weighted Average ROT = 59.03	
Press 'S' key to print the screen or press other keys to continue	

Figura 25: Continuação dos resultados para a situação atual da cabeceira 32.

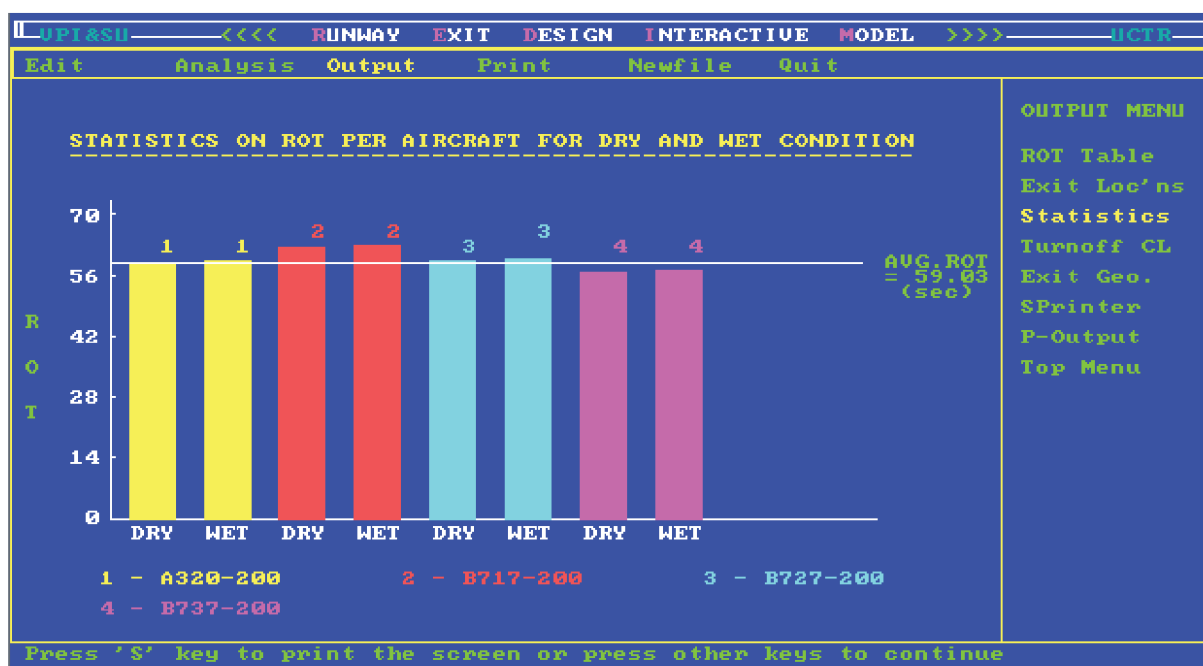
UPI&SU		<<< RUNWAY EXIT DESIGN INTERACTIVE MODEL >>>>				UCTP	
Edit	Analysis	Output	Print	Newfile	Quit		
ROT/ASSIGNMENT TABLE							
(This is for Evaluating an Existing Runway)							
Exit #		1					
Location (m)		2000.0					
Open/Close		Open					
Exit Type		90-Deg					
B737-200							
DRY		ROT	56.78				
(33.7%)		ROT	100.0%				
WET		ROT	57.39				
(1.3%)		ROT	100.0%				
ROT - Runway Occupancy Time in Secs				Weighted Average ROT = 59.03			
Press 'S' key to print the screen or press other keys to continue							

Figura 26: Representação da pista atual em relação a um pouso na cabeceira 32.



A Figura 27 representa os tempos de ocupação de pista por cada aeronave no caso da pista estar molhada (*wet*) ou seca (*dry*). Nesta, é possível verificar que a B737 é a aeronave que mais rápido libera a pista para outra operação no caso de pista seca.

Figura 27: Estatísticas para a situação atual da cabeceira 32.



Para a situação futura, com quatro saídas, as telas dos resultados para uma aeronave que pousa na cabeceira 14 são apresentadas. Na Figura 30, é percebido como ficará a pista de pouso e decolagem com as novas instalações.

Nas Figuras 28 e 29, é possível notar que o ROT para uma aeronave que pousa na cabeceira 14 é de 48,18 segundos; na 32, o tempo de ocupação de pista é de 52,42 segundos com as novas configurações do aeroporto.

É interessante notar, na Figura 28, que uma aeronave B717 tem uma chance de 35,2% de sair somente na saída do final da pista em uma situação de chuva, o que faz aumentar bastante o ROT em comparação a quando a mesma aeronave consegue sair na terceira saída, uma diferença de mais de 20 segundos.

Nota-se na Figura 31 como, numa condição de pista molhada, o tempo médio de ocupação de pista de um B717 é maior do que em todas as outras situações das demais aeronaves.

No cálculo, é considerado que as operações de pouso ocorrem 50% na cabeceira 14 e os outros 50% acontecem na 32. Em uma análise mais aprofundada, deveria ser considerada a proporção que mais se aproxima da realidade, visto que o pouso em uma cabeceira depende da direção do vento no momento da operação.

Figura 28: Resultados para a situação futura da cabeceira 14.

UPI&SU		<<<<	RUNWAY	EXIT	DESIGN	INTERACTIVE	MODEL	>>>>	UCIR
Edit	Analysis	Output	Print	Newfile	Quit				
ROT/ASSIGNMENT TABLE									
(This is for Evaluating an Existing Runway)									
Exit #	1	2	3	4					
Location (m)	0.0	600.0	1800.0	2300.0					
Open/Close	Open	Open	Open	Open					
Exit Type	45-Deg	90-Deg	45-Deg	90-Deg					
A320-200									
DRY			48.00						
(36.6%) ROT			100.0%						
WET			48.02	68.04					
(1.4%) ROT			89.2%	10.8%					
B717-200									
DRY			50.42	70.79					
(24.1%) ROT			98.8%	1.2%					
WET			50.79	71.25					
(0.9%) ROT			64.8%	35.2%					
B727-200									
DRY			48.28						
(1.9%) ROT			100.0%						
WET			48.45	68.05					
(0.1%) ROT			87.2%	12.8%					
ROT - Runway Occupancy Time in Secs			Weighted Average ROT = 48.18						
Press 'S' key to print the screen or press other keys to continue									

Figura 29: Continuação dos resultados para a situação futura da cabeceira 14.

UPI&SU		<<<< RUNWAY EXIT DESIGN INTERACTIVE MODEL >>>>				UCIR	
Edit	Analysis	Output	Print	Newfile	Quit		
ROT/ASSIGNMENT TABLE							
(This is for Evaluating an Existing Runway)							
Exit #	1	2	3	4			
Location (m)	0.0	600.0	1800.0	2300.0			
Open/Close	Open	Open	Open	Open			
Exit Type	45-Deg	90-Deg	45-Deg	90-Deg			
B737-200							
DRY			46.30				
(33.7%) ROT			100.0%				
WET			46.63				
(1.3%) ROT			100.0%				
ROT - Runway Occupancy Time in Secs				Weighted Average ROT = 48.18			
Press 'S' key to print the screen or press other keys to continue							

Figura 30: Representação da pista futura.

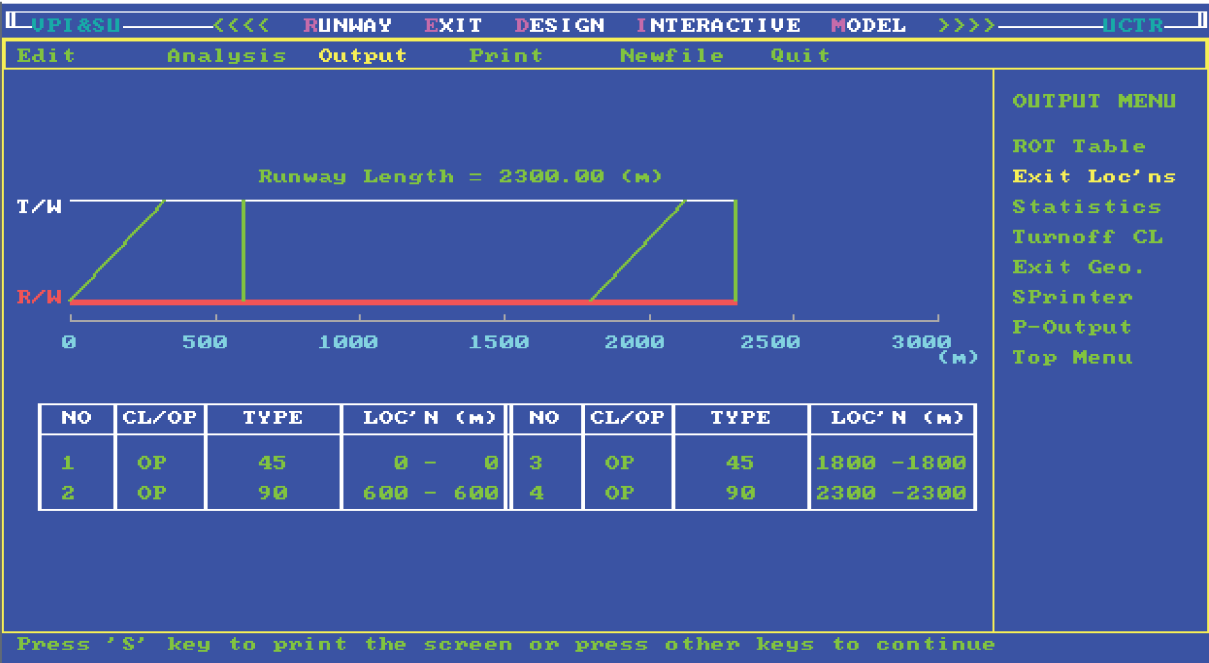
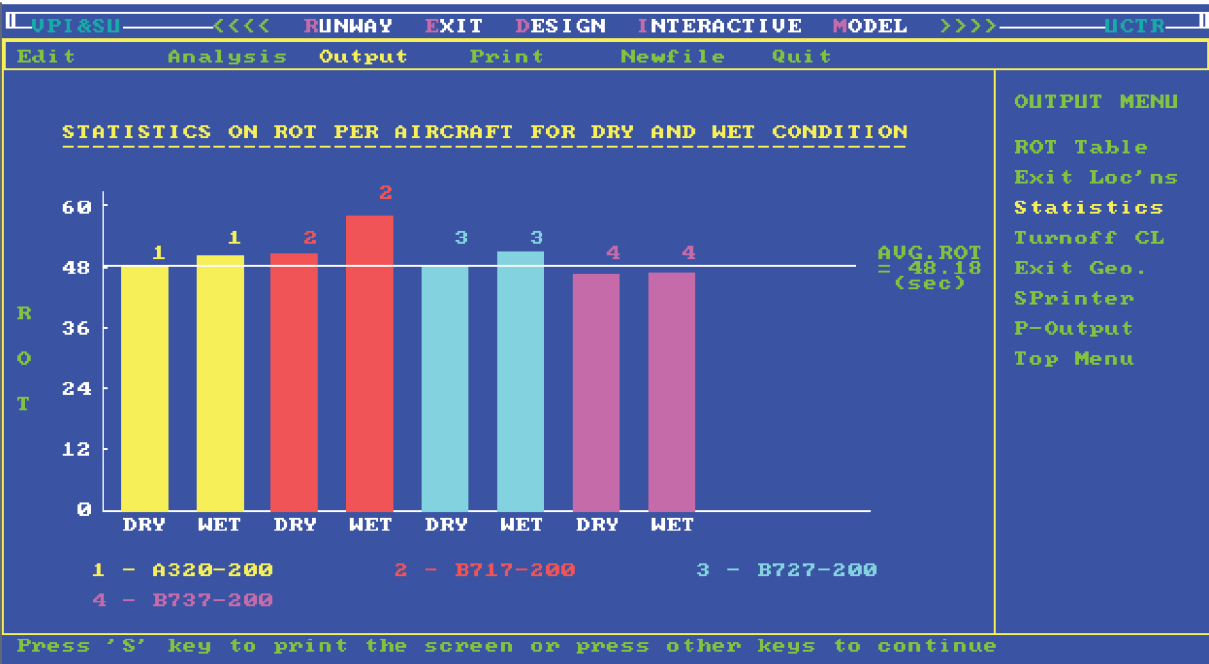


Figura 31: Estatísticas para a situação futura da cabeceira 14.



5.2 Cálculo do tempo de decolagem

Nota-se, de acordo com o *mix* de aeronaves reformulado da Tabela 14 e a classificação exposta na página 14, que as aeronaves que pousam e decolam no FLN são definidas como grandes, já que têm capacidade de 100 a 200 PAX, logo, com uso da Equação 4:

$$\begin{aligned}T_{\text{dec.m}} &= T_{\text{dec.G}} \cdot M_G \\T_{\text{dec.m}} &= 75s \cdot 100\% \\T_{\text{dec.m}} &= 75s\end{aligned}$$

Portanto, o tempo de decolagem médio é de 75 segundos, porém, este valor é somente definido para uma aeronave que decole da cabeceira 14.

Em uma decolagem a partir da cabeceira 32, a aeronave entra na pista a partir da única saída localizada próxima a cabeceira 14, por isso deve percorrer quase toda a extensão da pista até poder fazer um giro de 180 graus que permita a operação de decolagem. Este tempo não está incluso na Tabela 2 que é utilizada na Equação 4.

Para um valor mais próximo ao que acontece na realidade, uma visita de campo foi realizada em 3 de dezembro de 2017 e nesta foi encontrado uma média de 3 minutos e 10 segundos de uma amostragem de 8 operações para o tempo que uma aeronave demora em uma decolagem a partir da cabeceira 32.

Logo, é realizada a média entre os valores de tempo de decolagem a partir das duas cabeceiras, com a consideração de que as decolagens ocorrem na mesma proporção de 50% para cada cabeceira. Em uma análise mais aprofundada, deveria ser considerada a proporção que mais se aproxima da realidade do aeroporto, visto que a decolagem em uma cabeceira depende da direção do vento no momento da operação.

Para a situação atual:

$$\begin{aligned}T_{\text{dec}} &= (T_{\text{dec.14}} + T_{\text{dec.32}})/2 \\T_{\text{dec}} &= (75s + 190s)/2 \\T_{\text{dec}} &= 132,5s\end{aligned}$$

Para a situação futura, o tempo de decolagem é de 75 segundos.

5.3 Cálculo do tempo de separação entre aeronaves

Com o método *The Error-Free Case*, é encontrado um tempo de separação médio para todas as operações. No caso do FLN, como somente há presença de aeronaves grandes, em relação a capacidade de passageiros, a matriz de intervalos mínimos de tempo entre operações pode ser representada através da Tabela 15.

Tabela 15: Matriz das distâncias mínimas de separação para aeronaves grandes, em segundos.

	G. Dec. atrás	G. Pous. atrás
G. Dec. à frente	164	164
G. Pous. à frente	0	129

A matriz das probabilidades ($[p_{ij}]$) de ocorrer uma certa operação na pista é criada a partir do *mix* de aeronaves do FLN, composto somente por aviões grandes, ou seja, $G = 100\%$.

Com análise da base HOTRAN que mostra que houve 291 operações de pouso e 291 de decolagem no período da semana do dia 24 a 31 de agosto, é considerado que as movimentações do FLN são 50% operações e os outros 50% de decolagens.

Então, a chance de ocorrer uma decolagem de uma aeronave grande na pista 14/32 é de 50%. Logo, o pensamento pode ser estendido com a chance de acontecer um pouso de uma aeronave grande após outra de mesmo tamanho decolar: $50\% \times 50\%$, o que resulta em 25%.

Com este raciocínio, é construída a matriz das probabilidades ($[p_{ij}]$), apresentada na Tabela 16.

Tabela 16: Matriz das probabilidades ($[p_{ij}]$).

	G. Dec. atrás	G. Pous. atrás
G. Dec. à frente	25%	25%
G. Pous. à frente	25%	25%

O resultado da multiplicação entre um elemento da matriz das probabilidades e seu respectivo elemento da matriz de separações mínimas das aeronaves é mostrado na Tabela 17.

A média dos elementos da Tabela 17 resulta no tempo de separação ($T_{sep.}$) entre aeronaves de 28,49 segundos.

$$T_{sep.} = (40,91 + 40,91 + 32,14 + 0)/4 = 28,49 \text{ segundos.}$$

Tabela 17: Intervalo de tempo de cada operação probalisticamente, em segundos.

	G. Dec. atrás	G. Pous. atrás
G. Dec. à frente	40,91	40,91
G. Pous. à frente	0	32,14

5.4 Cálculo das capacidades teóricas máximas horárias

Para a efetuação do cálculo da capacidade teórica máxima horária é utilizada, então, a Equação 6.

Assim, para a situação atual:

$$N_{\text{mov.}} = 3600 / (((T_{\text{dec.}} + ROT_{\text{atual}}) / 2) + T_{\text{sep.}})$$

$$ROT_{\text{atual}} = (ROT_{\text{atual1}} + ROT_{\text{atual2}}) / 2$$

$$ROT_{\text{atual}} = (59,03 + 220,00) / 2$$

$$ROT_{\text{atual}} = 139,52s$$

$$N_{\text{mov.}} = 3600 / (((132,50 + 139,52) / 2) + 28,49)$$

$$N^{\circ}_{\text{mov.}} = 21,88$$

A capacidade teórica máxima da situação atual é de 21 movimentos por hora.

Para a situação futura:

$$N_{\text{mov.}} = 3600 / (((T_{\text{dec.}} + ROT_{\text{futuro}}) / 2) + T_{\text{sep.}})$$

$$ROT_{\text{futuro}} = (ROT_{\text{futuro1}} + ROT_{\text{futuro2}}) / 2$$

$$ROT_{\text{futuro}} = (52,42 + 48,18) / 2$$

$$ROT_{\text{futuro}} = 50,30s$$

$$N^{\circ}_{\text{mov.}} = 3600 / (((75,00 + 50,30) / 2) + 28,49)$$

$$N_{\text{mov.}} = 39,50$$

A capacidade teórica máxima da situação futura é de 39 movimentos por hora.

6 Conclusões

Este trabalho teve o objetivo de quantificar o incremento na capacidade de operação de aeronaves com o uso de programas de computador gratuitos, visto que o REDIM era o foco maior destes.

Na realização deste trabalho, a tarefa de modelar cada situação no *software* REDIM foi a mais complicada. Por ser de 1997, este é utilizado somente com o teclado e não guarda informações depois dele ser fechado, além disso, o mesmo não informa o erro caso a análise dê errada, o que ajudaria na modelagem dos cenários.

A necessidade do Aeroporto Internacional Hercílio Luz, que será conhecido agora como Floripa Airport, de ter sua capacidade aumentada é de conhecimento da população de Florianópolis. A situação vista no dia de visita ao campo, em que pessoas precisam deitar ou sentar no chão, não acontece vez ou outra, mas regularmente.

Em análise dos resultados, objetivo principal deste trabalho, é possível notar que a adição da pista de táxi paralela no sistema de pistas do aeroporto de Florianópolis melhora o número de movimentações (pousos e decolagens) possíveis por hora. O tempo de ocupação de pistas pelas aeronaves é 64,0% menor na situação futura do que na atual.

Em comparação entre a capacidade calculada para situação atual, de 21 movimentos por hora, e com a futura, de 39 operações, há um acréscimo de 85,7%, devido a nova configuração do sistema de pistas. É importante destacar, porém, que premissas foram feitas durante os cálculos, portanto estas podem gerar imprecisões nos resultados finais.

Foi observado, através de análise da base HOTRAN, que, atualmente, a hora de pico do FLN é entre às 9:00 e 10:00, onde há uma média de 10 operações (5 de pouso e 5 de decolagem), o que prova que o aeroporto, de acordo com o cálculo deste trabalho, opera com 47,6% da sua capacidade teórica máxima do lado aéreo, basicamente. Isto está ligado com a falta de balanceamento entre as capacidades dos demais elementos do aeroporto, principalmente a do terminal de passageiros e do pátio de aeronaves.

Como sugestões para trabalhos futuros baseados neste, podem ser sugeridos a análise, pelo REDIM, de posições ótimas de saída da pista do aeroporto de Florianópolis e compará-las com a situação futura, um levantamento de custos de uma nova pista, tanto de pouso e decolagens como de taxiamento e uma completa análise da capacidade do aeroporto de Florianópolis com as instalações, com a consideração do novo terminal de passageiros e do pátio de aeronaves.

Referências

- Airbus Societas Europeae. *A319 Aircraft characteristics - Airport and maintenance planning*. Toulouse, 2017a.
- Airbus Societas Europeae. *A320 Aircraft characteristics - Airport and maintenance planning*. Toulouse, 2017b.
- ASHFORD, N. J.; MUMAYIZ, S. A.; WRIGHT, P. H. *Airport engineering - Planning, design, and development of 21st century airports*. 4 ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- AUGUSTO, A. S. *Análise da capacidade das pistas dos aeroportos da rede INFRAERO*. TCC. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2007.
- BARROS, H. L. de.; *Santos Dumont e a invenção do avião*. Rio de Janeiro: Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, 2006.
- Boeing Commercial Airplanes. *717-200 Airplane characteristics for airport planning*. Seattle, 2014.
- Boeing Commercial Airplanes. *727 Airplane characteristics - Airport planning*. Seattle, 2011.
- Boeing Commercial Airplanes. *737 Airplane characteristics for airport planning*. Seattle, 2013.
- DECEA. *ICA 100-12 - Regras do ar*. [S.l.], 2016.
- DECEA. *ICA 100-37 - Serviços de tráfego aéreo*. [S.l.], 2017a.
- DECEA. *ICA 100-44 - Conceito de espaço aéreo*. [S.l.], 2017b.
- DECEA. *MCA 100-14 - Capacidade do sistema de pistas*. [S.l.], 2015.
- DECEA. *ROTAER - Publicação auxiliar de rotas aéreas*. 6ed. [S.l.], 2017c.
- Embraer Sociedade Anônima. *Embraer 190 - Airport planning manual*. São José dos Campos, 2015.
- Embraer Sociedade Anônima. *Embraer 195 - Airport planning manual*. São José dos Campos, 2015.
- FAA. *Advisory Circular 150/5060-5 - Airport capacity and delay*, [S.l.], 1983.
- FAA. *Advisory Circular 150/5300-13A - Airport design*, 2014.
- FERNANDES, C. A. B. de A. *Gerenciamento de riscos em projetos: Como usar o Microsoft Excel para realizar a simulação Monte Carlo*. [S.l.], 2005.
- HORONJEFF, R.; McKELVEY, F. X.; SPROULE, W. J.; YOUNG, S. B. *Planning and design of airports*. 5 ed. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2010.
- Infraero. *Plano diretor - Aeroporto internacional de Florianópolis - SC*, [S.l.], 2013.
- Infraero. *Movimentos operacionais de aeronaves, passageiros, carga e correios nos aeroportos administrados pela Infraero*. Disponível em <<http://www.infraero.gov.br/index.php/br/estatisticas/estatisticas.html>>. Último acesso em 17 de junho de 2017.
- KAZDA, A.; CAVES, R. E., *Airport Design and Operation* 2 ed. Oxford: Elsevier Ltd., 2007
- MEDEIROS, A. G. M. de. *Um método para dimensionamento de terminais de passageiros em aeroportos brasileiros*. Mestrado. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José Dos Campos, 2004.
- Virginia Tech. *REDIM 2.1 User's Manual*, [S.l.], 1997

Anexo A - Registros de ventos por hora no FLN

Figura 32: Registro da quantidade de cada ocorrência de vento, com sua direção e classe de acordo com a velocidade.

Direção	Observação horária de velocidades dos ventos (nós)									Total
	0-3	4-6	7-10	11-16	17-21	22-27	28-33	34-40	> 41	
10°	210	592	1223	1032	19	0	0	0	0	3076
20°	155	443	869	773	17	1	0	0	0	2258
30°	131	283	468	360	7	0	0	0	0	1249
40°	96	147	180	117	0	0	0	0	0	540
50°	68	91	73	22	1	1	0	0	0	256
60°	57	91	78	31	0	0	0	0	0	257
70°	81	80	83	33	0	0	0	0	0	277
80°	73	95	87	38	0	0	0	0	0	293
90°	84	99	115	38	0	0	0	0	0	336
100°	130	165	166	53	0	0	0	0	0	514
110°	126	207	240	63	0	0	0	0	0	636
120°	131	219	310	79	1	0	0	0	0	740
130°	167	277	431	153	1	0	0	0	0	1029
140°	165	280	448	199	4	0	0	0	0	1096
150°	159	321	450	217	8	1	0	0	0	1156
160°	196	314	442	241	13	1	0	0	0	1207
170°	150	278	382	250	38	5	0	0	0	1103
180°	164	284	427	232	28	5	0	0	0	1140
190°	187	311	484	281	28	8	0	0	0	1299
200°	158	330	521	370	30	3	0	0	0	1412
210°	196	439	475	305	21	4	0	0	0	1440
220°	197	357	321	169	13	2	0	0	0	1059
230°	154	229	130	59	2	0	0	0	0	574
240°	145	136	59	8	3	1	0	0	0	352
250°	159	127	28	5	0	0	0	0	0	319
260°	204	168	30	1	1	1	0	0	0	405
270°	222	214	26	8	1	1	0	0	0	472
280°	251	325	30	10	3	0	0	0	0	619
290°	333	338	48	17	8	0	0	0	0	744
300°	334	400	74	25	2	1	0	0	0	836
310°	356	447	105	41	6	1	0	0	0	956
320°	296	497	211	49	3	0	0	0	0	1056
330°	298	549	395	109	0	1	0	0	0	1352
340°	239	610	686	252	8	2	0	0	0	1797
350°	227	665	966	405	17	0	0	0	0	2280
360°	226	605	1200	743	20	2	0	0	0	2796
Calmos	4060									4060
TOTAL	10585	11013	12261	6788	303	41	0	0	0	40991

Fonte: Adaptado de <<https://airports-gis.faa.gov/agis/publicToolbox/windroseForm.jsp>>.